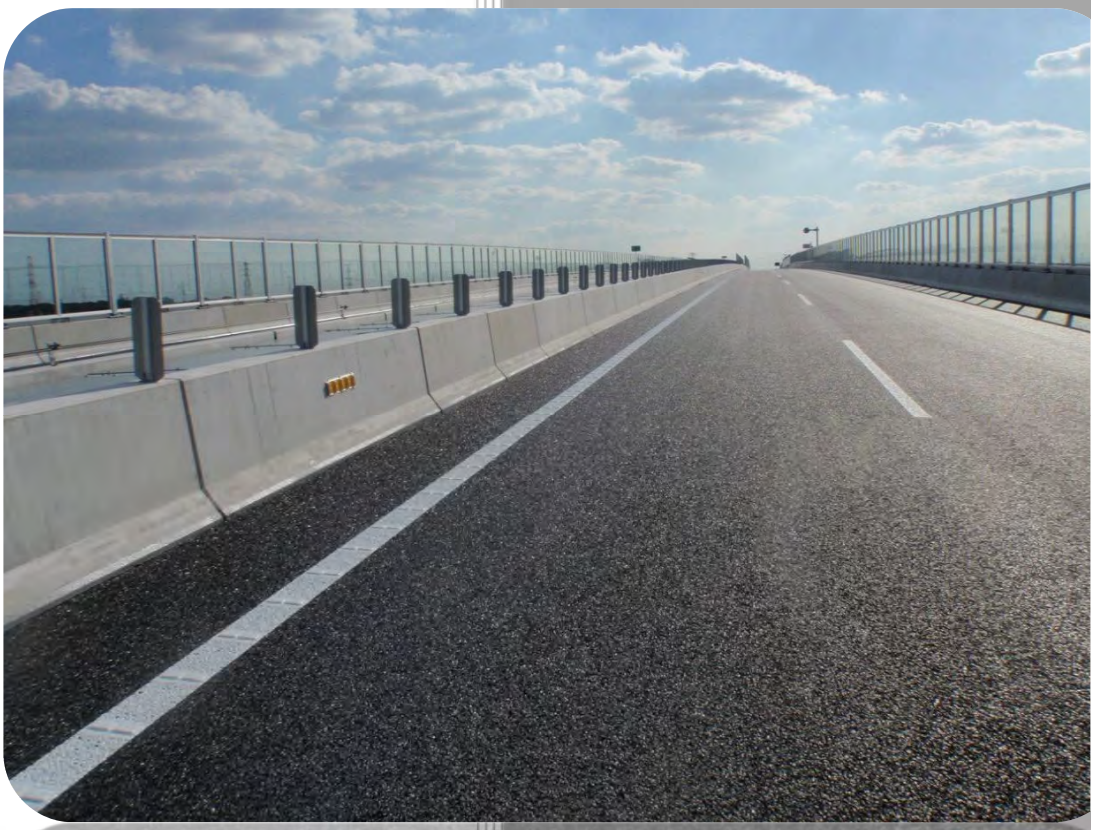
DAK 式プレキャスト壁高欄
「設計・施工ガイドライン」

〖改訂版〗



令和 4 年 5 月

DAK 式プレキャスト壁高欄
工法研究会

改訂履歴

版　数	発行日	改訂履歴
初　版	平成 29 年(2017 年) 3 月	
第 2 版 (1 回目改訂版)	令和元年(2019 年) 9 月	初版に以下の項目を追加・編集 ・実績の増加に伴う第 1 版の内容見直し ・「試験法 441」に準じた衝突安全性 ・DAK 式壁高欄の標準化の方向性
第 3 版 (2 回目改訂版)	令和 4 年(2022 年) 5 月	実績の増加や新たな技術の導入に伴い、第 2 版（1 回目改訂版）に以下の項目を追加・編集 ・工法研究会・会員会社の追加 ・塩害に対する耐久性に関する情報追加 ・鉄筋配置の標準化 ・新たなバネ式通信管路の情報追加 ・実績の増加に伴う第 2 版の内容見直し及び図、写真等の再編集 ・本文に参考にした文献を明示 ・新たな外部発表報告等の追加

Guidelines of Design and Construction for DAK-style Precast Concrete Fence

【2nd Time Revise Edition】

May　2022

DAK-style Precast Concrete Fence

Technical society of construction method

まえがき

DAK 式プレキャスト壁高欄（以下、DAK 式壁高欄という）の「設計･施工ガイドライン」は、平成 29 年（2017 年）3 月に初版を発行して以降、施工実績も増えて参りました。

また、NEXCO から、剛性壁高欄の衝突安全性に関する「試験法 441」が制定され、DAK 式壁高欄も、この試験法により、再度、衝突安全性を確認できました事、標準化の方向性を含め、令和元年（2019 年）9 月に第 2 版（1 回目改訂版）を発行させて頂きました。

この度、工法研究会・会員会社も増えました事、実績の増加に伴う新たな知見が出来ました事、DAK 式壁高欄の標準鉄筋配置を明確に出来ました事、新たな通信管路構造を標準化構造としました事、塩害に対する耐久性の新たな知見が増えました事及び新たな外部発表報告や論文が増えました事等を踏まえまして、第 3 版（2 回目改訂版）を発行させて頂く事になりました。

今後、NEXCO 管轄の橋梁の更新工事が更に増えると予想される中、発注者の皆様、施工者の皆様、あるいは計画・設計されるコンサルタントの皆様方に、DAK 式壁高欄のトータル設計として、構造的あるいは材料的特長やそれらの優位性、また、施工方法をご理解頂き、採用に向けて検討頂くため、「設計･施工ガイドライン(改訂版)」を更にバージョンアップし、分かり易く、かつ、計画に必要と思われる様々な情報を盛り込みました。

それらの内容は、概ね、以下の通りです。

第 1 章では、「総　則」として、適用の範囲と DAK 式壁高欄特有の用語について定義を明確にしています。

第 2 章では、「DAK 式壁高欄の特長」として、構造的な特長と材料的な特長及びそれらの優位性を明確に説明しています。

第 3 章では、「設　計」として、DAK 式壁高欄を性能別（耐久性能、安全性能及び使用性能）に整理し、それぞれ「耐久性に関する照査」、「安全性に関する照査」及び「使用性に関する照査」の具体的な照査方法と照査結果を分かり易く説明しています。

「耐久性に関する照査」では、DAK 式壁高欄の材料的特長であります高炉スラグ微粉末混入による遮塩性に対する耐久性の照査方法と照査結果を具体的に説明し、更に、「コンクリート標準示方書【設計編:標準】2017 年制定」の「2 編　耐久設計および耐久性に関する照査」および「4 編　使用性に関する照査」に準じ、DAK 式壁高欄の耐久設計として、普通セメントを用いた場所打ち壁高欄等との比較も行っています。

「安全性に関する照査」では、前述しましたように、「試験法 441」に準じ衝突試験を実施し、安全性を確認できましたことから、その試験結果に伴う安全性を具体的に説明しています。

「使用性に関する照査」では、設計衝突荷重による DAK 式壁高欄の具体的な部材設計方法や、橋軸方向の接合方法である PBL 鋼板を用いた孔あき鋼板ジベルの設計方法、PBL 鋼板周りの補強鉄筋の設計方法など、DAK 式壁高欄特有の構造に関する設計方法を、構造細

目を含め、具体的に分かり易く説明しています。
　更に、第 3 版では、DAK 式壁高欄の鉄筋配置について、鉄筋配置の標準化を明確にするとともに、壁高欄内に配置される通信管路についても、新たな知見を盛り込んでいます。

第 4 章では、**「プレキャスト壁高欄の製作」**として、先ず、製作の工程を分かり安くフローチャートで紹介し、そのフローチャートに従って、型枠の製作、鉄筋の組立てや配置方法、付属物の取付け方法、通信管路の配置方法、面取り方法、高炉スラグ微粉末混入コンクリートの品質及び配合、コンクリートの打込み及び養生方法、プレキャスト壁高欄の接合面の処理方法、仮置き及び保管方法、露出鋼材の防錆方法、出来形管理方法、運搬及び搬出まで、それぞれ第 2 版〖改訂版〗とは構成は変えず、より分かり易くするため、写真の入れ替え、追加、また、文章の修正など、編集を加えています。
　特に、第 3 版では、新たに採用しましたバネ式通信管路の配置状況を説明しています。

第 5 章では、**「施　工」**として、準備工、プレキャスト壁高欄の荷下し及び建込み、プレキャスト壁高欄の高さ調整、通信管路の接合、接合モルタルの試験練り、接合モルタル充填部の型枠設置、接合モルタル材の仮置き及び本練り、接合モルタルの充填、養生及び型枠撤去まで、第 2 版〖改訂版〗とは構成は変えず、より分かり易くするため、写真の入れ替え、追加、また、文章の修正など、編集を加えています。

第 6 章では、**「標準施工工程」**として、DAK 式壁高欄と場所打ち壁高欄の標準的な施工工程を実績を基に比較しています。特に、場所打ち壁高欄での標準的な工程を考慮し、それぞれ昼間施工としての概略工程を比較しています。

第 7 章では、**「DAK 式壁高欄の標準化」**として、DAK 式壁高欄の形状や構造、鋼材の防錆処理及び施工方法、バネ式通信管路を中心に、更なる現場施工の省力化及び耐久性向上に向けた DAK 式壁高欄の標準化構造を説明しています。

　巻末には、【参考文献】として、DAK 式壁高欄に関する外部発表報告、論文及び工法研究会作成資料も掲載し、本文中にその参考文献を明示し、更に内容を分り安く纏めています。その中で全文を掲載できるものは掲載していますので、参考にして頂ければ幸いです。
　また、その後には、参考文献とは別に、これまで外部発表した DAK 式壁高欄に関する報告や論文を全て纏め掲載していますので、こちらも参考にして頂ければ幸いです。

　なお、本改訂版で取りまとめた内容は、あくまで、DAK 式壁高欄工法の基本的な内容であり、この内容をそのまま工法指定するものではありません。
　施工環境に対する様々な環境条件に応じて、詳細を検討頂ければ幸いです。

　DAK 式壁高欄に関するご質問は、巻末にございます DAK 式壁高欄工法研究会【問合せ窓口】にお問い合わせください。

老朽化した社会インフラの更新事業等の計画・設計・施工に十分資する内容に改定できたと思っています。是非、今後の工期短縮策や耐久性向上策の一つの方法として検討頂ければ幸いです。

最後に、本ガイドライン改定にあたり、資料や写真の提供を頂いた会員各社様、関係の皆様に感謝致します。

令和４年　５月

DAK 式プレキャスト壁高欄 工法研究会
会長　白 鳥 愛 介
（所属：開発虎ノ門コンサルタント（株））

DAK 式プレキャスト壁高欄　工法研究会

会員名簿（順不同）

株式会社 デイ・シイ

開発虎ノ門コンサルタント 株式会社

ドーピー建設工業 株式会社

株式会社　IHI インフラ建設

株式会社 愛橋

株式会社 安部日鋼工業

川田建設 株式会社

極東興和 株式会社

コーアツ工業 株式会社

昭和コンクリート工業 株式会社

株式会社 富士ピー・エス

デイシイ販売 株式会社

株式会社 ノナガセ

目　次

第 1 章　総　則　・・・

3.7.3　コンクリート床版と PCa 壁高欄の接合高さ　・・・・・・・・・・・　46
3.7.4　孔あき鋼板ジベルの構造・寸法　・・・・・・・・・・・・・・・・・・　47
3.7.5　PBL 鋼板付け根の溶接の寸法　・・・・・・・・・・・・・・・・・・　48
3.7.6　孔あき鋼板ジベル及び補強鉄筋の標準配置と標準寸法　・・・・・　48
3.7.7　PCa 壁高欄同士の接合　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　50
3.7.8　PCa 壁高欄の縦断線形に対する配置　・・・・・・・・・・・・・・　50
3.7.9　PCa 壁高欄と場所打ち壁高欄の接合　・・・・・・・・・・・・・・　50
3.7.10 通信管路の配置　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　52
3.8　PCa 壁高欄の割付け　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　54
3.8.1　DAK 式壁高欄のブロック長　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　54
3.8.2　橋梁支点上及び端部の割付け方法　・・・・・・・・・・・・・・・・　54
3.8.3　場所打ち部を有する割付け方法　・・・・・・・・・・・・・・・・・　55

第 4 章　PCa 壁高欄の製作　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　56
4.1　製作フロー　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　56
4.2　型枠の製作　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　57
4.2.1　型枠の計画、設計及び製作　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　57
4.2.2　隅角部の面取り　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　58
4.3　鉄筋と型枠の組立て　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　58
4.3.1　鉄筋ユニットの組立て　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　58
4.3.2　鉄筋組立時の許容誤差　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　59
4.3.3　付属物の取付け　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　59
4.3.4　型枠の組立て　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　59
4.4　剥落防止工　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　60
4.5　通信管路の配置　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　60
4.6　コンクリートの品質と配合　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　61
4.6.1　品　質　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　61
4.6.2　示方配合　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　61
4.7　コンクリートの打込み及び養生　・・・・・・・・・・・・・・・・・・　62
4.7.1　コンクリートの打込み　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　62
4.7.2　コンクリートの養生　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　62
4.8　製品の取出し及び接合面の処理　・・・・・・・・・・・・・・・・・・　62
4.8.1　製品の取出し　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　62
4.8.2　小口面及び打継ぎ面の処理　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　63
4.9　仮置き保管　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　63
4.9.1　仮置き保管　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　63
4.9.2　露出鋼材の防錆　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　64

4.10　出来形管理　・・・

7.2.4　透明型枠の採用　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　84
7.2.5　接合モルタル充填時の妻型枠設置によるループ鉄筋内の
軸方向鉄筋の不連続化　・・・　84
7.2.6　バネ式通信管路の採用　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　85
7.3　その他の現場施工の省力化対策　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　86

【参考文献】　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　87
全文掲載報告及び論文
・塩害を受ける剛性防護柵のコンクリートかぶりに対する耐久性評価,
「橋梁と基礎」4 月号，2021 年 4 月・・・　88
・高炉スラグ微粉末を混入したプレキャスト壁高欄の塩害に対する耐久性
について，土木学会第 76 回年次学術講演会，第 V 部門，耐久性一般(2),
V-371，2021 年 9 月・・　95
・高炉スラグ微粉末の有無によるコンクリート製壁高欄の塩害に対する
耐久性の比較について，土木学会第 77 回年次学術講演会，第 V 部門,
2022 年 9 月発表予定・・・　97

〖 DAK 式壁高欄に関する報告や論文一覧 〗　・・・・・・・・・・・・・・・・　99

【問合せ窓口】　・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・　101

第１章　総　則

1.1　適用の範囲

DAK 式壁高欄は、衝突安全性の検討を NEXCO の試験法である「試験法 441」に準じて確認していることを踏まえ、現時点では、NEXCO 管内で発注される主に橋梁に設置されるフロリダ型剛性壁高欄の SB 種に適用可能としている。そのため、その他の種別については、別途検討が必要である。

また、DAK 式壁高欄は、床版側にループ鉄筋が配置可能であれば、床版の構造や材料等に左右されることなく適用可能であり、今後の橋梁建設の工期短縮策の観点から、コンクリート床版や合成床版を有する新設橋梁の建設、床版拡幅等の部分拡幅工法ならびにプレキャスト・プレストレストコンクリート床版（以下、PCa・PC 床版という）を用いた床版取替の更新工事等への適用に有効である。

1.2　用語の定義

本ガイドライン（改訂版）では、次のように用語を定義している。

DAK 式壁高欄	：	剛性壁高欄の急速施工及び高耐久化を目指して開発されたプレキャスト壁高欄工法で、プレキャスト壁高欄（以下、PCa 壁高欄という）と床版とをループ鉄筋継手で、また、橋軸方向接合部を PBL 鋼板で接合し、それらの接合部に高耐久な接合モルタルを充填して一体化させる PCa 壁高欄工法全体のシステムをいう。
ループ鉄筋継手	：	プレキャスト壁高欄側及び床版側からそれぞれ突出配置されたループ状の鉄筋を上下にラップさせた継手をいう。
PBL 鋼板	：	プレキャスト壁高欄同士の橋軸方向の接合に用いる孔あき鋼板をいう。
孔あき鋼板ジベル	：	PBL 鋼板にあけられた孔に接合モルタルが充填され、そのモルタルが橋軸方向の引張力に抵抗するジベルをいう。
縞鋼板	：	孔あき鋼板ジベルとしてのモルタルのせん断抵抗力を向上させるために配置された突起付きの鋼板をいう。
接合モルタル	：	プレキャスト壁高欄と床版とを一体化し、また、橋軸方向の PCa 壁高欄同士を一体化させるために充填される高炉スラグ微粉末を混入した高耐久なモルタルをいう。
高炉スラグ微粉末	：	遮塩性向上のためにプレキャスト壁高欄コンクリート及び接合モルタルに混入される混和材をいう。
バネ式通信管路	：	プレキャスト壁高欄内及び壁高欄同士の接合部に用いられ、接合の確実性と現場での施工性向上を両立させた通信管路をいう。
耐久性	：	高炉スラグ微粉末を混入したプレキャスト壁高欄コンクリート及び接合モルタルの遮塩性に対する耐久性をいう。
衝突安全性	：	NEXCO の衝突安全性確認のための試験方法である「試験法 441」に準じて試験した DAK 式壁高欄の衝突安全性をいう。

第 2 章　DAK 式壁高欄の特長

2.1　構造的特長 [1)、2)]

DAK 式壁高欄の構造的特長は、以下の通りである。

①　DAK 式壁高欄と床版との接合は、**図-2.1.1** に示すように、高さ調整や施工誤差の吸収が容易にできるループ鉄筋継手を採用しており、床版に配置されたループ鉄筋の間に、DAK 式壁高欄下端に配置されたループ鉄筋が橋軸方向に交互に配置される接合構造としている。

また、この接合部には、高炉スラグ微粉末を混入した高耐久な接合モルタル（商品名：リペアメント NS TYPE Ⅱ）が充填され、これによって、床版と DAK 式壁高欄が連続的に一体化される構造としている。

②　橋軸方向の DAK 式壁高欄同士の接合は、橋軸方向に連続的な構造的性能を発揮できるよう、また、衝突荷重による接合部の面外ずれが生じないよう、孔あき鋼板ジベル（以下、PBL という）を用いた接合構造としている。

図-2.1.1 から分かるように、PBL 側壁高欄に取り付けた PBL を逆台形型に加工した縞鋼板内（溝側壁高欄内）に差し込み、その接合部に高耐久な接合モルタルを充填して一体化させている。

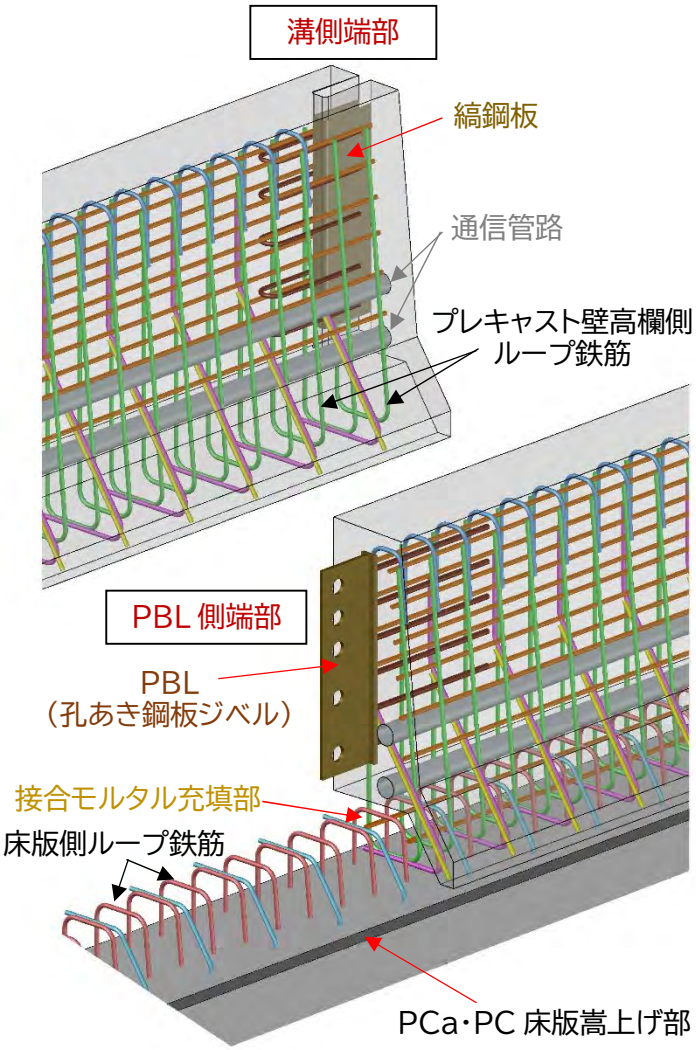


図-2.1.1　DAK 式壁高欄の接合部の構造

これらの接合構造を採用することによって、現場での DAK 式壁高欄の建込みでは、既に設置された DAK 式壁高欄に、上から落とし込むだけの単純な施工となるため、施工の省力化が図れる。

ループ鉄筋が配置された床版に DAK 式壁高欄を建て込む全体のイメージ図を図-2.1.2 に示す。

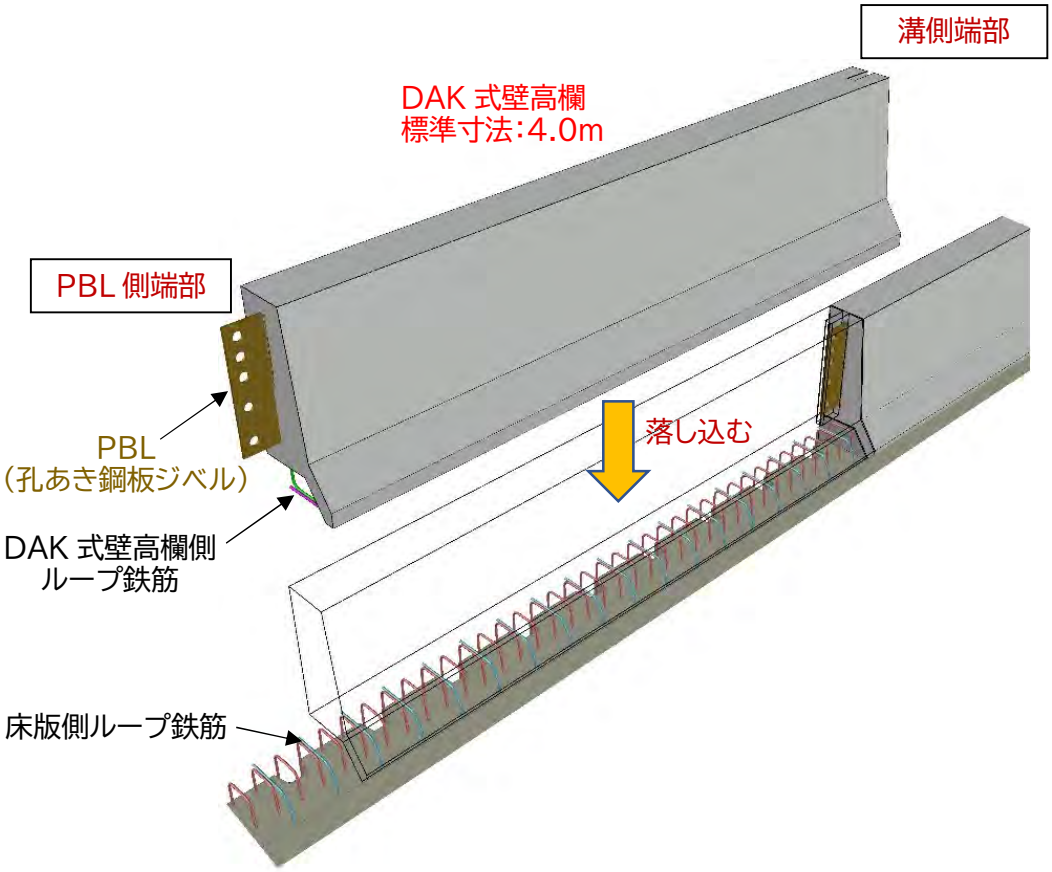


図-2.1.2　DAK 式壁高欄の建て込みのイメージ図

2.2　材料的特長[2)、3)]

DAK 式壁高欄に使用される各材料の特長は、以下の通りである。

①　DAK 式壁高欄は、冬期の融雪剤による塩害に対する遮塩性を向上させる目的で、PCa 壁高欄コンクリートには、早強ポルトランドセメント（以下、早強セメントという）をベースに、塩害に有効とされる高炉スラグ微粉末を 30%以上混合しており[6)]、また、接合モルタルにも、PCa 壁高欄と同等あるいはそれ以上の遮塩性を発揮できるよう、高炉スラグ微粉末を混合している。

②　接合モルタルの正式名は、商品名として「リペアメント NS TYPEⅡ」である。本材料の荷姿は、25kg の袋体及び 1t フレコンで、材料の物性を試験結果の値として**表-2.2.1** に示す。

表-2.2.1　リペアメント NS TYPEⅡの物性

物性内容		試験方法	規格値	試験値
コンシステンシー	J14 漏斗	JHS-312 に準拠	8±2(秒)	**7.8(秒)**
凝　結　時　間		JHS-312 に準拠	始発：1 時間以上(時間-分)	**5-05**
			終結：10 時間以内(時間-分)	**7-40**
ブリーディング率		JHS-312 に準拠	2 時間で 2%以内	**0.0(%)**
膨 張 収 縮 率		JHS-312 に準拠	7 日で収縮を示さない	**0.2(%)**
圧　縮　強　度		JHS-312 に準拠	材齢 3 日　：25N/mm^2 以上	**64.5N/mm^2**
			材齢 28 日：45N/mm^2 以上	**86.8N/mm^2**

注）フレッシュ性状及び圧縮強度に関しては、NEXCO の「構造物施工管理要領」にある無収縮モルタルの性能を満足しており、また、規格値は、基本、NEXCO の要求性能として規定されている値を示す。

DAK 式壁高欄に使用されている荷姿としての 25kg の袋体を**写真-2.2.1** に示す。

また、参考として、「リペアメント NS TYPEⅡ」の環境温度 20℃における材齢と発現強度の関係の試験値例を**図-2.2.1** に示す。

写真-2.2.1　25kg の袋体の写真

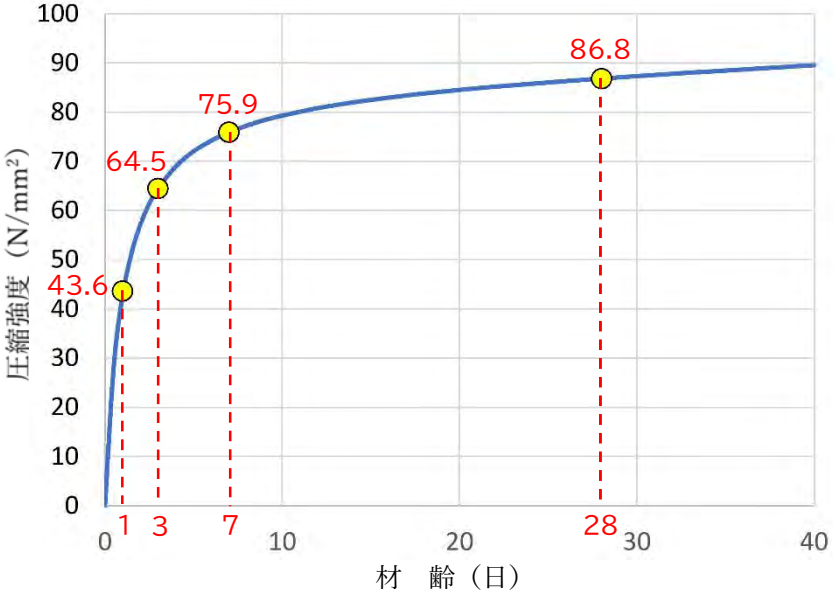


図-2.2.1　「リペアメント NS TYPEⅡ」の環境温度 20℃における材齢-強度曲線の試験値

③　DAK 式壁高欄コンクリート及び接合モルタルの遮塩性に対する耐久性の評価では、電子線マイクロアナライザーによる面分析により、JSCE-G574「EPMA 法によるコンクリート中の元素の面分析方法」に準じて評価しており、試験結果として、PCa 壁高欄の見掛けの拡散係数の平均値は、182 日間の浸漬結果で D_{ap}=0.534cm²/年となり、一方、接合モルタル「リペアメント NS TYPEⅡ」では、365 日間の浸漬結果で D_{ap}=0.217cm²/年という結果がそれぞれ得られている[3)]。そして、耐久性の具体的評価では、これらの見掛けの拡散係数から、JSCE-G572「浸漬によるコンクリート中の塩化物イオンの見掛けの拡散係数試験方法」に準じて、塩化物イオン濃度曲線より、フィックの拡散方程式を用いて評価している。

詳細は、「第 3 章　設　計　3.6.2　耐久性に関する照査」で記述している。

④　PCa 壁高欄下端面及び床版面と接合モルタルとの界面における付着強度に関しては、構造一体性の観点から、両者の界面の引張強度に関する性能と捉え、「NEXCO 構造物施工管理要領 3-3-5 断面修復の性能照査」より、「表 3-3-3 打込み方法による断面修復の性能照査項目」である「コンクリートとの付着性」に準じ確認している。

試験の結果、平均付着強度は 2.1N/mm² で、コンクリートと断面修復材との付着強度の基準値である 1.5N/mm² を満足している[3)]。

⑤　乾燥収縮量は、市販の無収縮モルタルに比べ、かなり小さく抑えられると考えられ、収縮抑制効果が高いと考えられる[3)]。

第 3 章　DAK 式壁高欄の設計

3.1　設計の基本事項

3.1.1　設計の基本方針

DAK 式壁高欄の部材設計については、NEXCO の「**設計要領第二集　橋梁建設編　6 章　支承及び付属物　5. 防護柵**」[4] に準拠し、この中の鉄筋コンクリート製防護柵の項を準用している。また、設計上定められた基本的な事項については、同設計要領に示される図表に準じている。

ただし、DAK 式壁高欄は、工場製作の PCa 部材を用いる工法であり、この部材製作に用いられる使用材料、橋梁床版との接合方法に関する構造細目、橋軸方向の接合構造等、DAK 式壁高欄特有の項目がある。従って、ここでは、DAK 式壁高欄に関する材料の設計値、設計用の応答値の算定方法、安全性を照査するための応力度の限界値、性能照査の方針及び、具体的な設計方法、構造細目及びプレキャストブロックの割付けまで、DAK 式壁高欄の設計方法を分かり易く記述している。

3.1.2　性能照査方針

本設計・施工ガイドライン〔改訂版〕で取り纏めた性能照査は、その方法を「**土木学会・コンクリート標準示方書【設計編】**」の体裁とし、「**耐久性に関する照査**」、「**安全性に関する照査**」、及び「**使用性に関する照査**」として分け、「**耐久性に関する照査**」では、遮塩性に対する耐久性能を、「**安全性に関する照査**」では、NEXCO の壁高欄の衝突安全性を確認するための試験法である「**試験法 441**」に準じた衝突安全性能を、そして、「**使用性に関する照査**」では、衝突荷重が DAK 式壁高欄に静的に作用した場合の各構造部材の安全性能について、それぞれ具体的に照査方法と照査結果を記述している。

3.2　材料の設計値 [2)、6)]

DAK 式壁高欄に用いられる各材料の種類、使用部位及び材料の特性値や規格は、**表-3.2.1** の通りである。

表-3.2.1　DAK 式壁高欄に使用される材料

材料の種類	使用部位	材料の特性値 あるいは規格
コンクリート	PCa 壁高欄本体	σ_{ck} ＝40 N/mm^2
モルタル	床版と PCa 壁高欄の接合部	σ_{ck} ＝45 N/mm^2
鉄筋	PCa 壁高欄本体及び床版との接合部	SD345
孔あき鋼板	PCa 壁高欄同士の接合部	SM400
フランジプレート	孔あき鋼板と PCa 壁高欄の接合部	SM400
縞鋼板	孔あき鋼板挿入溝部	SS400

3.2.1　コンクリート

DAK 式壁高欄本体、つまり、PCa 壁高欄コンクリートの物性及び設計用値は、**表-3.2.2** の通りである。

表-3.2.2　コンクリートの物性及び設計用値

物性の項目	設計用値	備　　考
設計基準強度	$\sigma_{ck}=40$ N/mm^2	28 日材齢
ヤング係数	$E_c=3.1\times10^4$ N/mm^2 1)	28 日材齢
ポアソン比	1/6 1)	

注）1）の値は、道路橋示方書に準じた。

3.2.2　鉄筋、孔あき鋼板（PBL）、フランジプレート及び縞鋼板

DAK 式壁高欄に用いられる鉄筋、孔あき鋼板（PBL）、フランジプレート及び縞鋼板の規格と設計用値は、**表-3.2.3** の通りである。

表-3.2.3　鉄筋、孔あき鋼板（PBL）、フランジプレート及び縞鋼板の規格と設計用値

鋼材の種類	規　格	設計用値	
		ヤング係数	ポアソン比
鉄筋	SD345	$E_s=2.0\times10^5$ N/mm^2 1)	0.3
孔あき鋼板(PBL)	SM400	$E_s=2.0\times10^5$ N/mm^2 1)	0.3
フランジプレート	SM400	$E_s=2.0\times10^5$ N/mm^2 1)	0.3
縞鋼板	SS400	$E_s=2.0\times10^5$ N/mm^2 1)	0.3

注）1）の値は、道路橋示方書に準じた。

3.2.3　接合モルタル

DAK 式壁高欄において、床版と PCa 壁高欄との接合のために充填される接合モルタルの物性と設計用値は、**表-3.2.4** の通りである。

表-3.2.4　接合モルタルの物性及び設計用値

物性の項目	設計用値	備　　考
設計基準強度	$\sigma_{ck}=45$ N/mm^2	28 日材齢
ヤング係数	$E_c=2.1\times10^4$ N/mm^2 1)	28 日材齢
ポアソン比	1/6 2)	

注）1）の値は、試験値としている。
　　2）の値は、道路橋示方書に準じた。

3.3　作　用[2)、4)、5)]

3.3.1　作用の種類

NEXCO で採用されている各種剛性壁高欄の安全性を照査する場合の荷重作用は、一般的に、**図-3.3.1** に示す衝突荷重及び風荷重（背面風荷重）である。

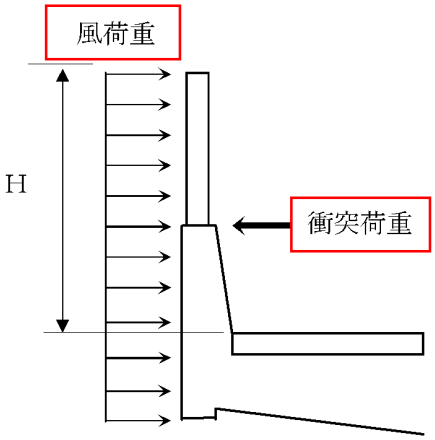


図-3.3.1　剛性壁高欄の設計に用いる荷重作用の種類

本設計・施工ガイドラインでは、DAK 式壁高欄の特徴である橋軸方向継手としての孔あき鋼板ジベルの設計を主として記載することとしたため、荷重作用については、衝突荷重を受けた場合の壁高欄の安全性の照査についてのみ記述し、背面風荷重に関する安全性の照査は省略した。

従って、照査対象荷重作用は、衝突荷重のみとした。

なお、背面風荷重による部材の安全性照査が必要な場合は、別途検討する必要がある。

3.3.2　作用の組合せ

衝突荷重を考慮する場合の作用（荷重）の組合せは、**表-3.3.1** の通りである。

表-3.3.1　衝突荷重を考慮する場合の荷重の組合せ

荷重の組合せ
主荷重（P）＋ 主荷重に相当する特殊荷重（PP）＋ 衝突荷重（CO）

ここで、主荷重（P）：死荷重（D）
　　主荷重に相当する特殊荷重（PP）：該当なし

なお、衝突荷重に対する壁高欄部材としての曲げ設計については、壁高欄の死荷重、すなわち、自重の影響は無視している。従って、壁高欄の曲げ設計では、衝突荷重（CO）のみ考慮している。

3.4　応答値の算定 [1)、2)、4)]

3.4.1　作用のモデル化

応答値の算定に用いる設計用の構造モデルについては、2 種類としている。一つは、衝突荷重を受けた場合の DAK 式壁高欄そのものの部材の安全性を照査するモデルと、もう一つは、PCa 壁高欄同士の橋軸方向接合部における孔あき鋼板ジベルの安全性を照査するモデルである。

(1) DAK 式壁高欄の安全性を照査するためのモデル化

DAK 式壁高欄内に配置される鉄筋の応力度の照査用モデルについては、**図-3.4.1** に示すように、壁高欄は、床版上面を固定端とする片持ち梁としてモデル化する。また、衝突荷重は、NEXCO の場合、壁高欄天端に作用する天端線荷重として与えられる [4)]。

鉄筋応力度の照査断面は、壁高欄の断面変化点である**設計断面①**及び床版上面の**設計断面②**である。

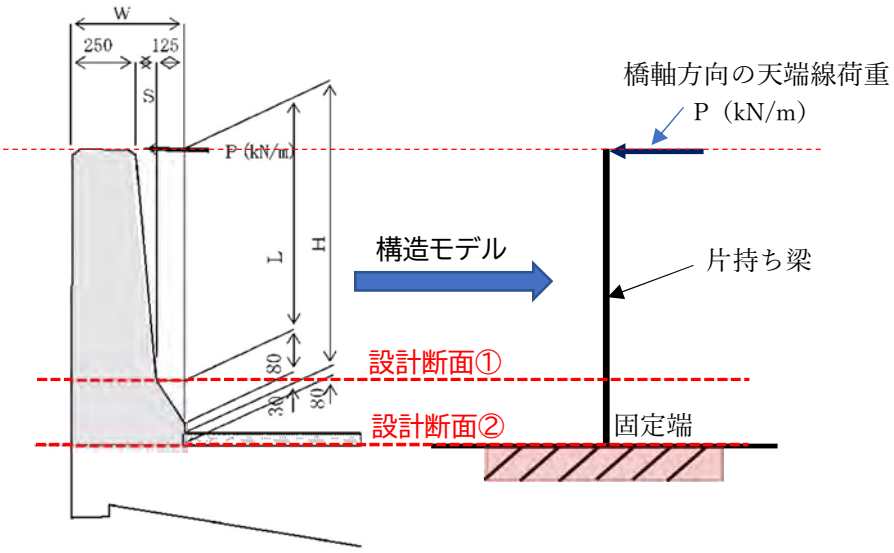


図-3.4.1　DAK 式壁高欄内に配置される鉄筋の応力度照査用モデル

(2) 橋軸方向接合部の孔あき鋼板ジベルの安全性を照査するためのモデル化

橋軸方向の接合に用いられる孔あき鋼板ジベルの安全性を照査するためには、PBL 鋼板に作用する断面力を求める必要がある。

DAK 式壁高欄の橋軸方向継手部に衝突荷重が作用した場合、継手部は、**図-3.4.2** に示すような変形と各断面力が生じることが分かっている [1)、2)]。

このような挙動と断面力を詳細に解析するためには、PBL 鋼板を含めた壁高欄全体をモデル化した 3 次元 FEM 解析モデルが適切であると判断し、その解析モデルは、**図-3.4.3** に示す通りとしている。

なお、壁高欄 SB 種の断面形状は、**図-3.4.1** に示したように、前面にハンチを有する形状であるが、孔あき鋼板ジベルを安全側に設計するため、PBL 鋼板に設計上不利（大きめ）

な断面力が作用するよう、**図-3.4.3** の通り、面外変形が大きくなる断面形状とし、壁高欄の天端幅を 250mm 一定の等断面形状としている。

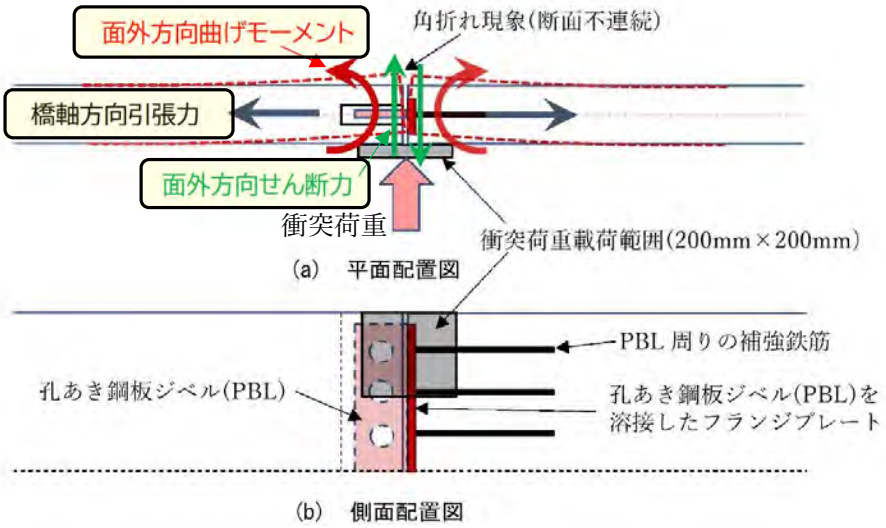


図-3.4.2　壁高欄継手部に衝突荷重が作用した場合の接合部の変形と発生断面力

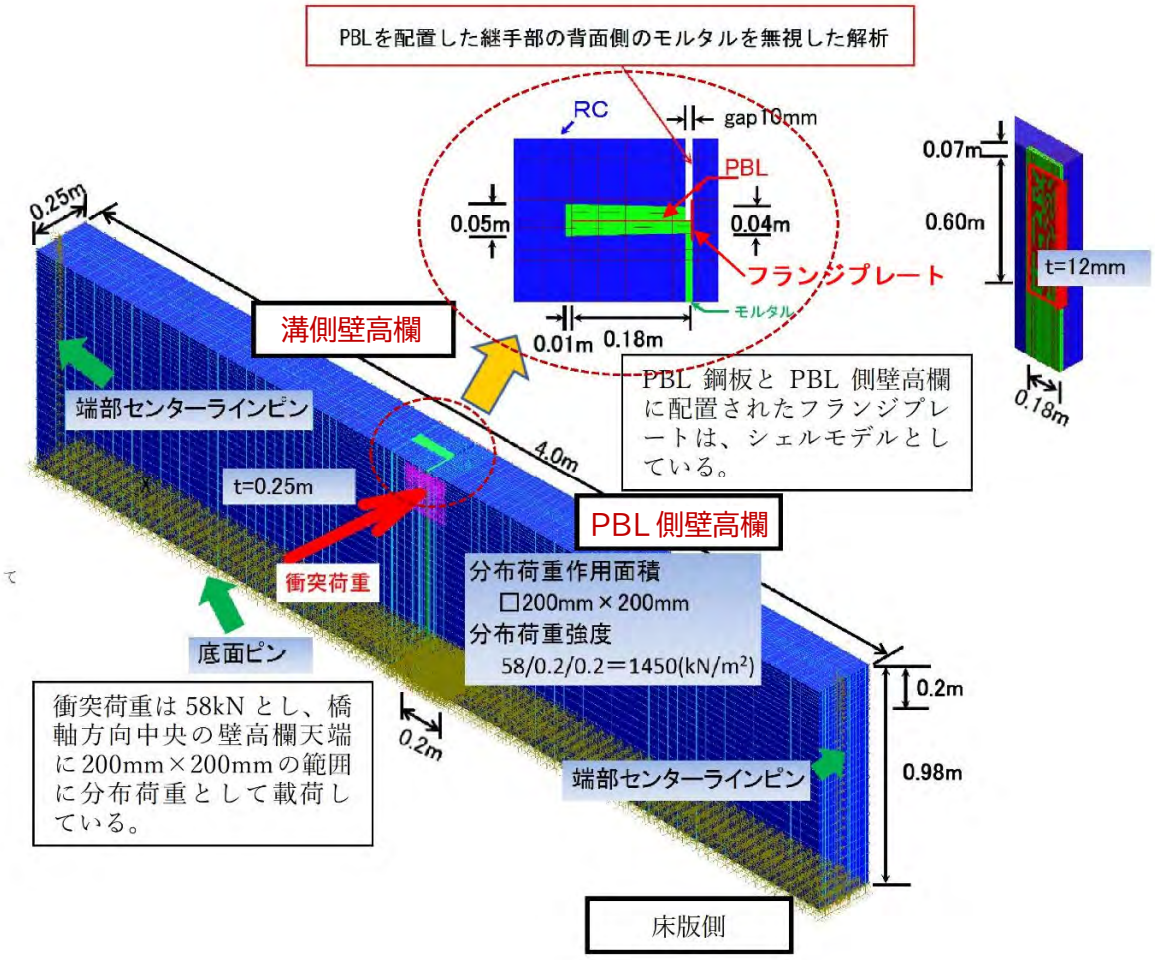


図-3.4.3　PBL 鋼板を含めた壁高欄全体の 3 次元 FEM 解析モデル

3.4.2　設計応答値の算出

DAK 式壁高欄の設計のための設計応答値の算出方法は、「**3.4.1　作用のモデル化**」でも述べた通り、2 種類としている。それは、PCa 壁高欄自体の部材としての安全性照査、すなわち、壁高欄縦方向の主鉄筋応力度の照査のための設計応答値の算出と、衝突荷重作用時の面外方向に変形する時の橋軸方向接合部の安全性照査で、孔あき鋼板ジベル等の安全性照査のための設計応答値の算出である。

(1) PCa 壁高欄の部材としての安全性照査のための設計応答値の算出

「**3.4.1　作用のモデル化**」の (1) でも述べたが、この場合の設計応答値となる設計曲げモーメントは、**式-3.4.1** で計算できる。

$$My = P \times x \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \text{式-3.4.1}$$

ここに、My : 縦方向曲げモーメント（kN・m/m）
P : **図-3.4.1** に示す衝突荷重による天端線荷重（kN/m）
x : 壁高欄天端から設計断面までの距離（m）

なお、天端線荷重（P）は、NEXCO では、**表-3.4.1** のように決められている。

表-3.4.1　鉄筋コンクリート防護柵の種別、寸法関係及び天端線荷重強度

種　別	H (mm)	L (mm)	W (mm)	S (mm)	衝突荷重 F (kN)	天端線荷重 P (kN/m)
SS	1100	890	465	90	138	45
SA	1000	790	455	80	88	32
SB	900	690	445	70	58	22
SC	900	690	445	70	35	13

注）表中の H、L、W 及び S の表記は、**図-3.4.1** を参照。

ここで、フロリダタイプ SB 種の天端線荷重は、P＝22 kN/m となる。

従って、フロリダタイプ SB 種について、**図-3.4.1** に示した**設計断面①**及び**設計断面②**に作用する衝突荷重作用時の設計応答値（設計曲げモーメント）は、**式-3.4.1** 及び**表-3.4.1** の寸法より、**表-3.4.2** の通りとなる。

表-3.4.2　設計断面①及び設計断面②に作用する設計応答値

設計対象断面	天端線荷重 P（kN/m）	設計断面までの距離 x（m）	設計応答値 My＝P・x (kN・m/m)
設計断面①	22.0	0.690	15.180
設計断面②	22.0	0.980	21.560

（2）橋軸方向接合部の孔あき鋼板ジベル等の安全性照査のための設計応答値の算出

「3.4.1　作用のモデル化」の（2）で述べた通り、衝突荷重が作用した場合の橋軸方向接合部の安全性照査は、接合構造に孔あき鋼板ジベルを採用しているため、その孔あき鋼板ジベルと PBL 鋼板周辺の補強鉄筋の照査となる。

孔あき鋼板ジベルの設計を行うためには、図-3.4.4 に示すように、ジベル孔に作用する 2 面せん断抵抗力に対応する 2 面せん断力を計算する必要がある。そのためには、PBL 鋼板に作用する橋軸方向引張力を計算する必要があるため、孔あき鋼板ジベルをモデル化した 3 次元 FEM 解析により、孔あき鋼板ジベル（PBL 鋼板）に作用する橋軸方向引張力から、ジベル孔に作用する設計せん断力を計算している。

3 次元 FEM 解析の結果、衝突荷重作用時に、孔あき鋼板ジベル及び PBL 鋼板周辺の補強鉄筋の設計に用いる設計応答値については、安全側を考慮して、PBL 鋼板付け根に作用する応答値をそのまま用いた。その応答値の分布を図-3.4.5 に示す。

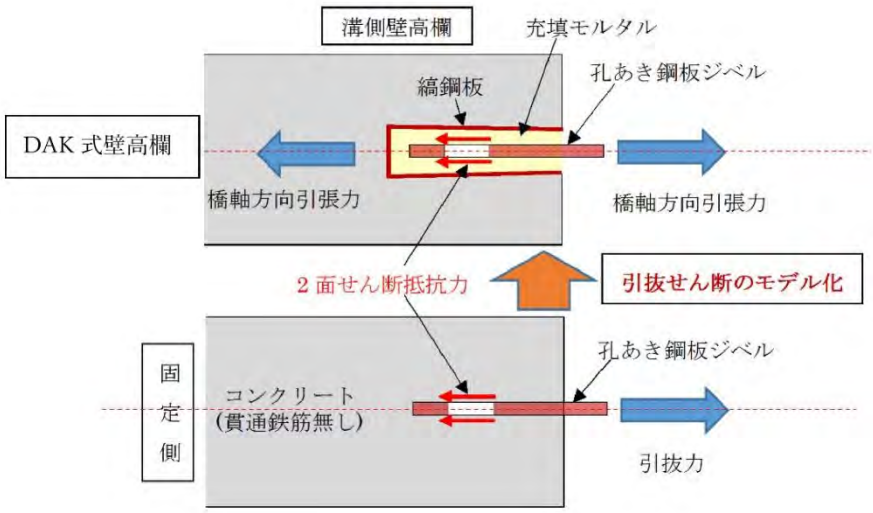


図-3.4.4　DAK 式壁高欄の孔あき鋼板ジベルに作用する橋軸方向せん断力の作用

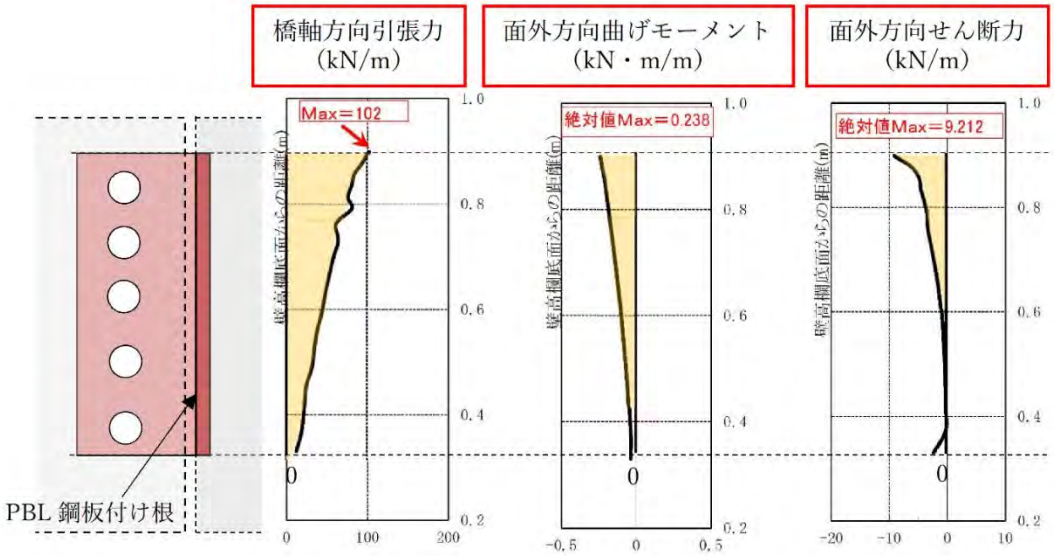


図-3.4.5　衝突荷重作用時に PBL 鋼板付け根に作用する設計応答値（図-3.4.2 参照）

3.5　限界値

3.5.1　限界値の基本

限界値とは、衝突荷重作用時に DAK 式壁高欄を構成するコンクリート、接合モルタル、鉄筋、そして橋軸方向接合部を構成する孔あき鋼板ジベル等の鋼材に作用する各応力度が、衝突荷重作用時に許容し得る最大応力度の制限値をいう。

従って、応力度の限界値は、衝突荷重を考慮した応力度の制限値に衝突荷重作用時の割増係数を乗じた応力度となる。

3.5.2　応力度の制限値の割増係数 [5)]

衝突荷重作用時の各構成材料の応力度の制限値に対する割増係数は、基本、「道路橋示方書・同解説 Ⅲ コンクリート橋編」に準じ、表-3.5.1 の通りとする。

表-3.5.1　許容応力度の割増係数

荷重の組合せ	割増係数
1) 主荷重(P)＋主荷重に相当する特殊荷重(PP)	1.00
2) 主荷重(P)＋主荷重に相当する特殊荷重(PP)＋温度変化の影響(T)	1.15
3) 主荷重(P)＋主荷重に相当する特殊荷重(PP)＋風荷重(W)	1.25
4) 主荷重(P)＋主荷重に相当する特殊荷重(PP)＋温度変化の影響(T)＋風荷重(W)	1.35
5) 主荷重(P)＋主荷重に相当する特殊荷重(PP)＋制動荷重(BK)	1.25
6) 主荷重(P)＋主荷重に相当する特殊荷重(PP)＋衝突荷重(CO)	1.50
7) 活荷重及び衝撃以外の主荷重＋地震の影響(EQ)	1.50
8) 風荷重(W)	1.20
9) 施工時荷重(ER)	1.25

3.5.3　応力度の限界値

表-3.5.1 の応力度の制限値に対する割増係数を考慮すると、DAK 式壁高欄の衝突荷重作用時における各構成材料の応力度の限界値は、表-3.5.2 の通りとなる。

表-3.5.2　DAK 式壁高欄に用いられる各構成材料の応力度の限界値

構成材料の種類	材料の特性値あるいは規格	応力度の制限値 (N/mm²)	衝突荷重作用時時の割増係数	各構成材料の限界値 (N/mm²)
コンクリート	σ_{ck}＝40N/mm²	(圧縮) 13.0 [1)]	1.5	(圧縮) 19.5
接合モルタル	σ_{ck}＝45N/mm²	(圧縮) 15.0 [2)]	1.5	(圧縮) 22.5
鉄筋	SD345	(引張) 200 [3)]	1.5	(引張) 300
孔あき鋼板	SM400	(引張) 140 [4)]	1.5	(引張) 210

注) 1)：コンクリートの特性値の 1/3 の値とし丸めた値。
2)：接合モルタルの特性値の 1/3 の値とした。
3)：道路橋示方書に準拠し、荷重の組合せに衝突荷重含む場合の制限値とした。
4)：道路橋示方書に準拠し、鋼材の板厚 40mm 以下の制限値とした。

3.6　性能照査

3.6.1　性能照査方針

DAK 式壁高欄の性能照査としては、耐久性、安全性及び使用性に対する各性能の照査を行っている。

耐久性に関する性能照査については、DAK 式壁高欄の場合、PCa 壁高欄コンクリート及び床版と PCa 壁高欄の接合部に充填される接合モルタルには、それぞれ遮塩性に優れた高炉スラグ微粉末を混合しているため、ここでは、塩害に対する耐久性の照査を行っている。

安全性に関する性能照査については、NEXCO の規定による衝突安全性確認試験としての「試験法 441」に準じた衝突試験を実施し、衝突安全性に対する性能照査を行っている。

使用性に関する性能照査については、NEXCO で設定された設計衝突荷重が、DAK 式壁高欄に静的に作用した場合の壁高欄の部材の性能及び橋軸方向の壁高欄同士の接合部の性能について、それぞれ使用性としての性能照査を行っている。

3.6.2　耐久性に関する照査 [2)、3)、6)、7)、8)]

DAK 式壁高欄の耐久性に関する性能照査については、図-3.6.1 に示す照査フローに従って照査しており、基本的には、フィックの拡散方程式を用いた照査を行っている。

照査の基本は、既存の場所打ち壁高欄の塩害調査結果による見掛けの拡散係数を基本に、DAK 式壁高欄コンクリート及び床版との接合モルタルのそれぞれの見掛けの拡散係数が、土木学会式で算出される見掛けの拡散係数及び経過年数に対応するよう、各材料の関係を整理し、得られた結果から耐久性の照査を行っている。

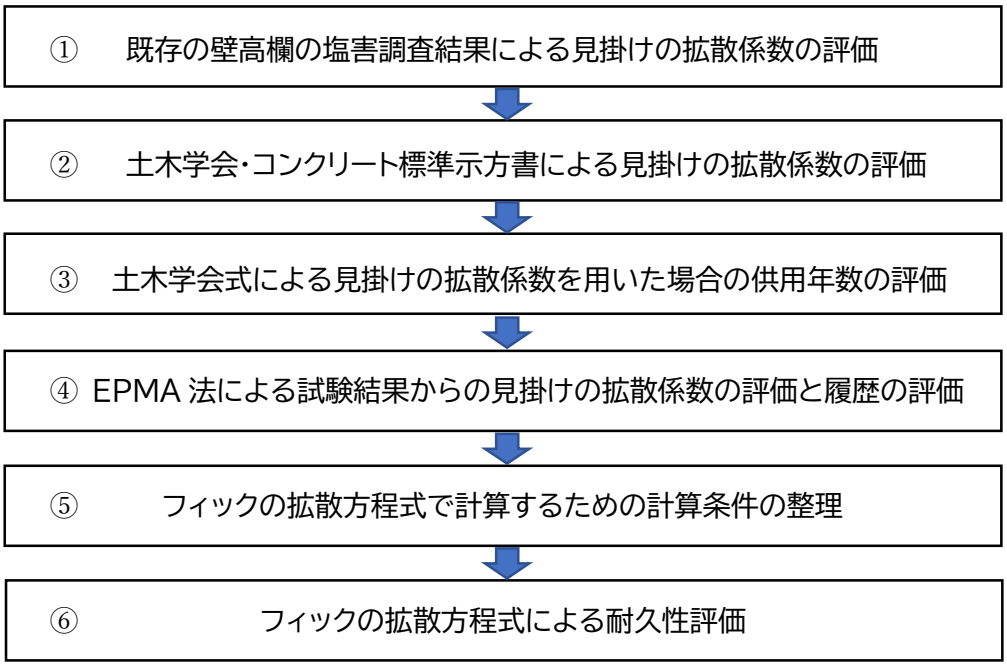


図-3.6.1　耐久性の照査フロー

(1) 既存の場所打ち壁高欄の塩害調査結果による見掛けの拡散係数の評価

既存の橋梁用剛性壁高欄（場所打ち壁高欄）の塩害調査結果に基づき、先ずは、既存の場所打ち壁高欄の見掛けの拡散係数の評価を行っている。

塩害調査結果に基づいた実測値と、**式-3.6.1** に示すフィックの拡散方程式を用い、経過時間と見掛けの拡散係数との関係をフィッティング曲線として作成している。

$$C(x,t)=C_0\left\{1-erf\left(\frac{0.1\cdot x}{2\sqrt{D_c\cdot t}}\right)\right\}+C_i \qquad \cdots\cdots\cdots \text{式-3.6.1}$$

ここに、$C(x,t)$：コンクリート表面からの距離 x における塩化物イオン濃度（kg/m^3）
x　：コンクリート表面からの距離（mm）
t　：経過年数（年）
C_0　：コンクリート表面における塩化物イオン濃度（kg/m^3）
D_c　：コンクリートの塩化物イオンに対する見掛けの拡散係数（cm^2/年）
C_i　：初期塩化物イオン濃度（kg/m^3）
erf　：誤差関数

先ず、**式-3.6.1** による結果として、場所打ち壁高欄の塩害調査結果を基にした経過時間と見掛けの拡散係数との関係をフィッティング曲線として表すと、**図-3.6.2** の通りとなる。

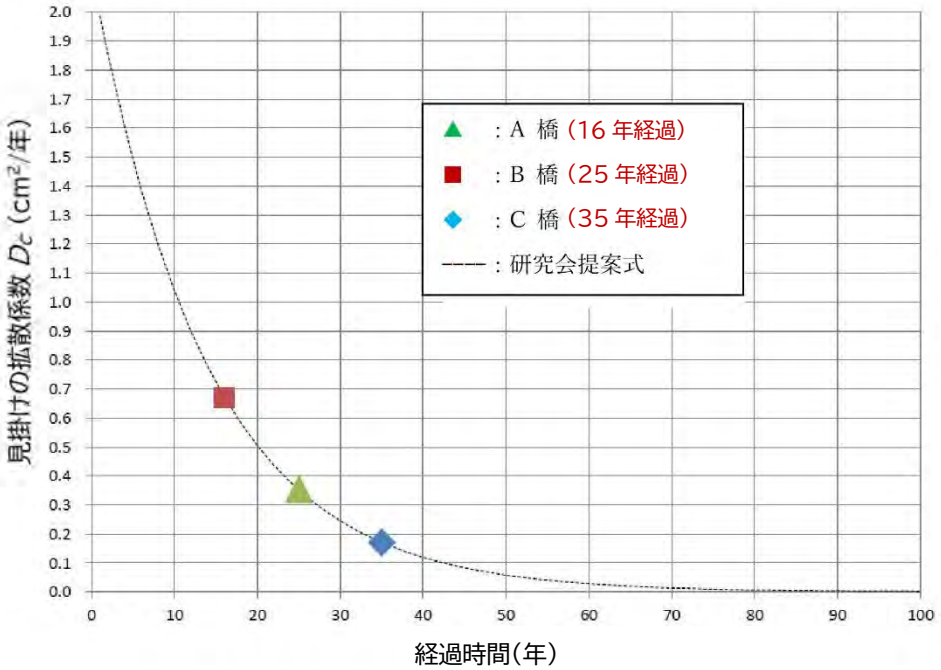


図-3.6.2　既存の場所打ち壁高欄における経過時間と見掛けの拡散係数の関係

耐久性の評価については、この場所打ち壁高欄のフィッティング曲線を基本としている。

次に、コンクリート標準示方書「**土木学会 2012 年制定「設計編:標準」**」に規定されている普通ポルトランドセメント（以下、普通セメントという）を用いた場合の塩化物イオンの拡散係数について検討する。

ここで、**図-3.6.2** のフィッティング曲線を、普通セメントを用いた場所打ち壁高欄の経過時間と見掛けの拡散係数に関するフィッティング曲線と定義すると、本フィッティング曲線は、**式-3.6.2** の通りとなる。なお、この場合、見掛けの拡散係数は、100 年で 0 に収束すると仮定している。

$$\log_{10} D_c(t) = \left(3.0 \cdot \left(\frac{W}{C}\right) - 1.8\right) \cdot (0.1045 \cdot t - 1.098) \qquad \cdots\cdots\cdots \text{式-3.6.2}$$

ここに、$D_c(t)$ ： 経過時間（ t 年）における見掛けの拡散係数（cm^2/年）
W/C ： 水セメント比（W/C=0.5）
t ： 経過時間（年）

(2) 土木学会・コンクリート標準示方書による見掛けの拡散係数の評価

ここでは、「コンクリート標準示方書「土木学会 2012 年制定「設計編:標準」」に準拠して塩化物イオンの見掛けの拡散係数の計算を行い、前述した**図-3.6.2** のフィッティング曲線に対する見掛けの拡散係数に対して、どれほどの経過年数に相当するかを検討している。

土木学会では、普通セメントを用いたコンクリートに対しては、見掛けの拡散係数の特性値(D_k)は、**式-3.6.3** で計算してよいとしている。

$$\log_{10} D_k = 3.0\ (W/C) - 1.8 \qquad (0.30 \leq W/C \leq 0.55) \qquad \cdots \text{式-3.6.3}$$

ここに、D_k ： 見掛けの拡散係数の特性値（cm^2/年）
W/C ： 水セメント比（調査の結果、0.5 と設定）

(3) 土木学会式による見掛けの拡散係数を用いた場合の供用年数の評価

式-3.6.2 の見掛けの拡散係数のフィッティング曲線式に、**式-3.6.3** より算出した見掛けの拡散係数の特性値を代入し、経過時間（年）を計算する。

結果、**式-3.6.3** から計算される見掛けの拡散係数の特性値は、D_k=0.501cm^2/年となるため、**図-3.6.2** のフィッティング曲線（**式-3.6.2**）から、**図-3.6.3** に示すように、コンクリート部材が 20 年間塩害にさらされたときの見かけの拡散係数に相当すると評価できる。

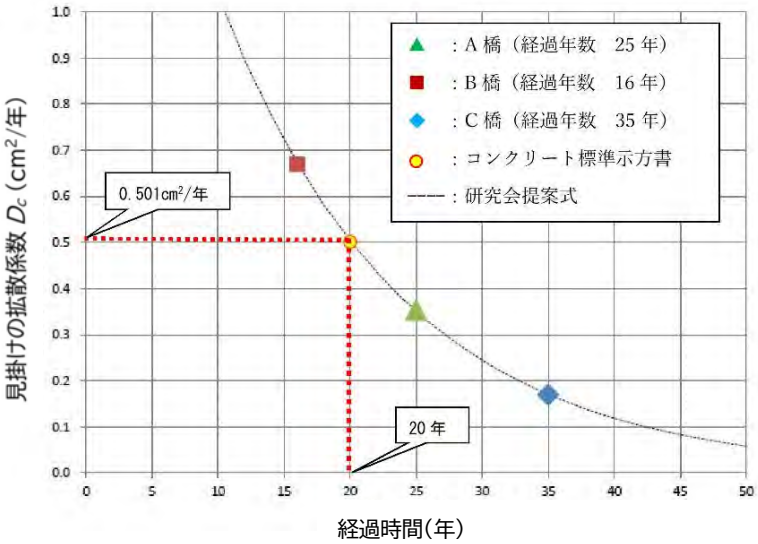


図-3.6.3 土木学会式に準じた場所打ち壁高欄の見掛けの拡散係数の特性値と経過年数

（4）EPMA 法による DAK 式壁高欄の見掛けの拡散係数の評価と塩分浸透履歴の評価 [3)、6)]

DAK 式壁高欄コンクリートは、早強セメントをベースに、塩害に有効な高炉スラグ微粉末を 30%以上置換し、設計基準強度（σ_{ck}）を 40N/mm^2 としている。

EPMA 法による試験結果から、DAK 式壁高欄コンクリートは、浸漬期間 182 日（0.50 年）で、見掛けの拡散係数が D_c＝0.534cm^2/年、また、床版との接合モルタルは、浸漬期間 365 日（1.0 年）で、見かけの拡散係数は D_c＝0.217 cm^2/年と得られている。それらの結果を場所打ち壁高欄コンクリートの場合のフィッティング曲線（**図-3.6.2**）と相似させることで、DAK 式壁高欄コンクリートと接合モルタルの見掛けの拡散係数を上記「**(3) 土木学会式による見掛けの拡散係数を用いた場合の供用年数の評価**」によって算出した経過年数に対応するように推定している。

図-3.6.2 及び**図-3.6.3** に対応する DAK 式壁高欄コンクリート及び接合モルタルのフィッティング曲線の作成方法は以下の通りである。先ず、上記の推定を基に DAK 式壁高欄の浸漬試験 182 日を基本とし、**式-3.6.2** の場所打ち壁高欄コンクリートの提案式から、場所打ち壁高欄コンクリートの 182 日に対する見掛けの拡散係数を計算する。結果は、2.060cm^2/年となる。一方、DAK 式壁高欄コンクリートの場合は、EPMA 法の結果から、182 日での見掛けの拡散係数は 0.534cm^2/年である。これらのことから、DAK 式壁高欄コンクリートの経過年数 20 年での見掛けの拡散係数は、経過年数 20 年の場所打ち壁高欄コンクリートの見掛けの拡散係数を両者の見掛けの拡散係数の比（α＝2.060/0.534＝3.858）で除して算出している。その値を DAK 式壁高欄コンクリートの見掛けの拡散係数の特性値と考えた。接合モルタルも同様な方法で算出した。なお、接合モルタルの物性値は、「**第 2 章　DAK 式壁高欄の特長 2.2　材料的特長**」に示した通りである。

従って、土木学会式から得られたコンクリートの見掛けの拡散係数の特性値を基本として、場所打ち壁高欄コンクリートと DAK 式壁高欄コンクリート及び接合モルタルのそれぞれの見掛けの拡散係数の関係を整理すると**図-3.6.4** の通りとなる。

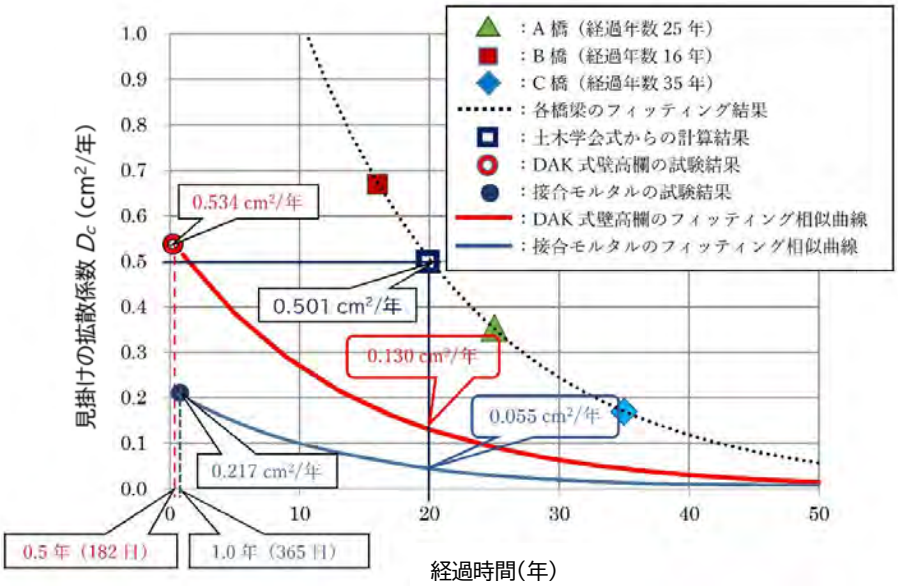


図-3.6.4　DAK 式壁高欄コンクリートと接合モルタルの経過年数と見掛けの拡散係数との関係

以上の結果、経過年数 20 年に相当する場所打ち壁高欄コンクリート、DAK 式壁高欄コンクリート及び接合モルタルのそれぞれの見掛けの拡散係数の特性値は、**表-3.6.1** の通りとなる。

表-3.6.1　経過年数 20 年に相当する各材料の見掛けの拡散係数の特性値

検討項目	場所打ち壁高欄	DAK 式壁高欄	
		プレキャスト壁高欄コンクリート	接合モルタル
経過年数（年）	20	20	20
見掛けの拡散係数の特性値（cm^2/年）	0.501	0.130	0.055

表-3.6.1 から分かるように、DAK 式壁高欄コンクリート及び接合モルタルの見掛けの拡散係数の特性値は、場所打ち壁高欄コンクリートのそれに比べ非常に小さい事から、DAK 式壁高欄システムは、塩害に対する耐久性に優れていることが分かる。

（5）耐久性評価のための計算条件の整理 [6)]

前記の（3）及び（4）の結果を基に、フィックの拡散方程式を用いて DAK 式壁高欄コンクリートの耐久性を評価すべき計算条件を整理すると、以下のとおりとなる。

① コンクリート表面の塩化物イオン濃度（C_o）

式-3.6.1 のフィックの拡散方程式を用いて DAK 式壁高欄コンクリートの耐久性を評価する場合、基本的には、耐久年数、コンクリートかぶり及びコンクリート表面の塩化物イオン濃度の関係を明確にする必要がある。ここでは、そのためのコンクリート表面の塩化物イオン濃度である。

② 見掛けの拡散係数（D_c）の特性値の設定

計算に用いる DAK 式壁高欄コンクリートの見掛けの拡散係数の特性値は、**表-3.6.1** より、D_c=0.130cm^2/年と設定する。

③ コンクリートの単位質量あたりの初期塩化物イオン濃度（kg/m^3）

DAK 式壁高欄コンクリートの耐久性の評価に用いるコンクリートの単位質量あたりの初期塩化物イオン濃度は、一般的な値として、C_i=0.3kg/m^3 と設定する。

④ 鋼材腐食発生限界濃度

遮塩性に対する耐久性評価にあたっては、鉄筋位置での鋼材腐食発生に影響する許容塩化物イオン濃度の設定が必要である。

DAK 式壁高欄コンクリートの耐久性照査では、鉄筋位置での許容塩化物イオン濃度として、「コンクリート標準示方書「土木学会 2012 年制定「設計編：標準」」の規定による鋼材腐食発生限界濃度（C_{lim}）を用いている。

なお、DAK 式壁高欄コンクリートの塩分浸透履歴は、高炉セメントを用いたコンクリートの塩分浸透履歴に相当する事から、DAK 式壁高欄コンクリートの鋼材腐食発生限界濃度

（C_{lim}）の計算は、高炉セメント B 種相当と仮定して計算するこことした[6)]。従って、この場合の鋼材腐食発生限界濃度（C_{lim}）は、**式-3.6.4** で計算できる。

$$C_{lim} = -2.6\,(W/C) + 3.1 \quad (0.30 \leq W/C \leq 0.55) \quad \cdots\cdots \text{式-3.6.4}$$

ここに、C_{lim}　：鋼材腐食発生限界濃度（kg/m³）
　　W/C　：水セメント比（＝0.4）（DAK 式壁高欄の基本配合より）[6)]

式-3.6.4 より、DAK 式壁高欄コンクリートの鋼材腐食発生限界濃度を計算すると、C_{lim}＝2.06 kg/m³ となる。これらの条件を基に、耐久性の評価は、鉄筋位置で鋼材腐食発生限界濃度に到達する経過時間（年）をフィックの拡散方程式（**式-3.6.1**）で計算することよって評価することとした。

（6）フィックの拡散方程式による耐久性評価

DAK 式壁高欄コンクリートの塩害に対する耐久性の評価に対し、(5) で整理した計算条件を基に、フィックの拡散方程式により浸透履歴計算を行い、耐久年数、コンクリートかぶり及びコンクリート表面の塩化物イオン濃度の関係を整理している。その結果は、**図-3.6.5** の通りである[7)]。

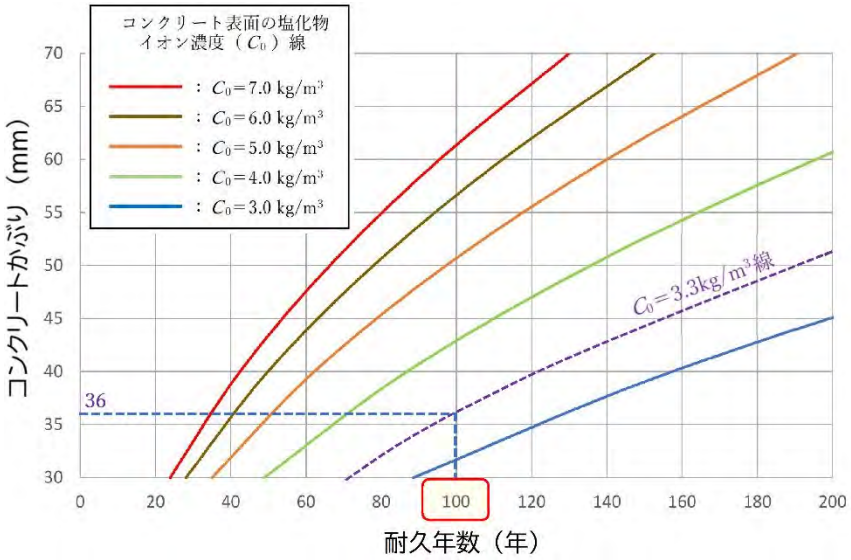


図-3.6.5　DAK 式壁高欄コンクリートの塩害に対する耐久性の計算結果

図-3.6.5 は、DAK 式壁高欄コンクリートのコンクリート表面の塩化物イオン濃度別に、鋼材腐食発生限界濃度に対する耐久年数とコンクリートかぶりの関係を示したものである。

例えば、壁高欄建設場所の年平均のコンクリート表面の塩化物イオン濃度が、C_0=7.0kg/m³（図の赤線）であれば、100 年の耐久性を確保するためのコンクリートかぶりは、概ね、62mm 以上必要であることを示している。他の曲線も同じ考え方である。

なお、**図-3.6.5** の C_0=3.3kg/m³ 線は、普通セメントを用いた場所打ち壁高欄に対する 100 年耐久において、コンクリートかぶり 70mm に対して**式-3.6.1** のフィックの拡散方程式により計算した場合のコンクリート表面の塩化物イオン濃度を示したものである。

この結果から、コンクリート表面の塩化物イオン濃度が C_0=3.3kg/m^3 の場合の DAK 式壁高欄コンクリートの 100 年耐久では、コンクリートかぶり 36mm を確保すればよい事を示している。この事からも、DAK 式壁高欄コンクリートの塩害に対する耐久性は、普通コンクリートを用いた場所打ち壁高欄に比べ、各段に向上する事を示している。

一方、土木学会の「**コンクリート標準示方書【設計編:標準】2017 年制定**」の「**2 編 耐久設計および耐久性に関する照査**」及び「**4 編 使用性に関する照査**」に準じ、DAK 式壁高欄コンクリート、普通セメントを用いた場所打ち壁高欄コンクリート及び早強セメントを用いたプレキャスト壁高欄コンクリートの耐久設計を行なった結果を**図-3.6.6** に示す[8)]。

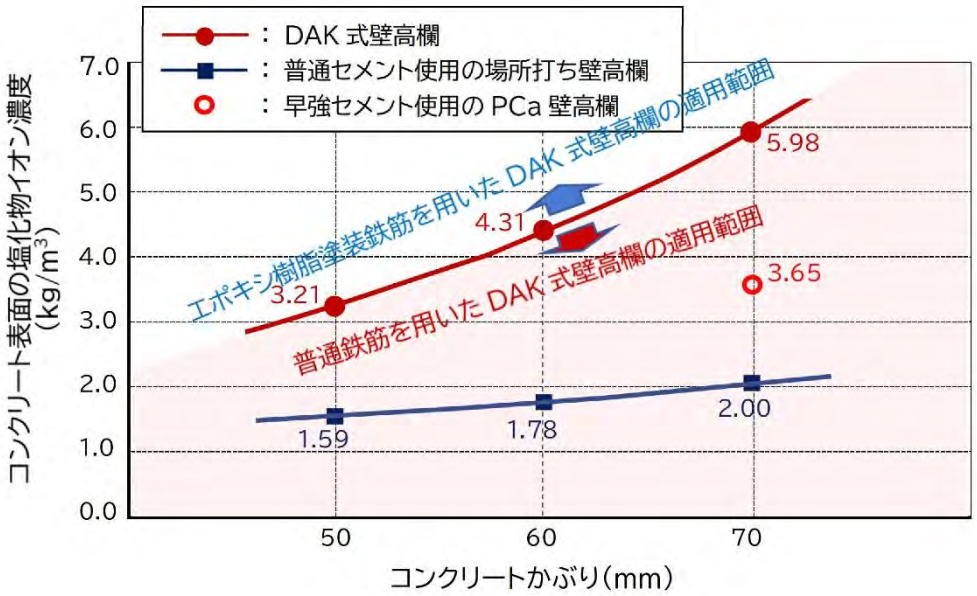


図-3.6.6 土木学会式に準じた各コンクリートの耐久設計結果

なお、**図-3.6.6** の結果は、「**土木学会・コンクリート標準示方書**」に準じた耐久設計の結果であり、鋼材位置における塩化物イオン濃度の設計値（kg/m^3）の照査式は[8)]、**式-3.6.5** に示すように、**式-3.6.1** のフィックの拡散方程式に対し、係数等が考慮されているため、**図-3.6.5** の結果より安全側の結果となっている。

$$C_d = \gamma_{cl} \cdot C_0 \left(1 - erf\left(\frac{0.1 \cdot C_d}{2\sqrt{D_d \cdot t}} \right) \right) + C_i \qquad \cdots\cdots\cdots \text{式-3.6.5}$$

ここに、γ_{cl}は、鋼材位置における塩化物イオン濃度の設計値（C_d）のばらつきを考慮した安全係数で、1.3 を用いている。また、誤差関数内のC_dは、耐久性に関する照査に用いるかぶりの設計値（mm）で、施工誤差を予め考慮している。

これらの結果から、塩害に対する 100 年耐久に関し、DAK 式壁高欄コンクリートは、普通セメントを用いた場所打ち壁高欄よりも、また、早強セメントを用いた PCa 壁高欄コンクリートよりも塩害に対する耐久性が極めて高いことが分かる。

3.6.3　安全性に関する照査 [2)]

DAK 式壁高欄システムの衝突安全性に関する性能照査は、NEXCO 規定による衝突安全性確認試験としての「**試験法 441**」に準じた衝突試験を実施し、衝突安全性を確認している。

(1) NEXCO 規定の試験方法

NEXCO が規定する衝突試験は、**図-3.6.7** に示す台車あるいは重錘による試験方法で、衝突安全性を確認してよいとしている。

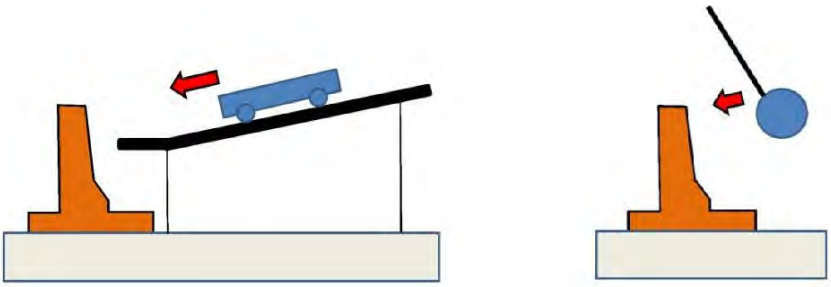


図-3.6.7　衝突試験の概念図（左：台車、右：重錘）

次に、衝突条件は、**表-3.6.2** に示す通り規定されている。

表-3.6.2　衝突条件

衝突条件	種別	衝突直前のエネルギー[1)] (kJ)	衝突角度 (度)	衝突位置
設計荷重相当	SS	6.5	90	・中央部 ・端部 ・橋軸方向接合部
	SA	4.2		
	SB	2.8		
	SC	1.6		
場所打ち壁高欄[2)]における耐力相当	共通	28		

1) 衝突直前のエネルギーは、衝突体の質量と衝突直前の速度から算出するものとする。
衝突直前のエネルギー　$I = (1/2) \cdot m \cdot v^2$
ここに、m：衝突体質量（t）
v ：衝突速度（m/s）
2) 設計要領第二集で規定する標準配筋とした場所打ち壁高欄

また、壁高欄と衝突体の間に配置する緩衝材の種別は、**表-3.6.3** に示す通りである。

表-3.6.3　緩衝材の種別

材　質	ゴム硬度	ゴム厚さ (mm)
アクリロニトリルブタジエンゴム	30	215

以上の条件で、衝突させる衝突体の衝突中心位置を、壁高欄天端から 300mm の位置とし、壁高欄標準部の中央、橋軸方向接合部及び端部の 3 ヶ所に衝突させ、DAK 式壁高欄の安全性を照査している。

なお、ここで用いた DAK 式壁高欄（DAK 式 PCa 壁高欄及び接合モルタル）の材料は、「**第 2 章　DAK 式壁高欄の特長　2.2　材料的特長**」で述べた材料である。

(2) DAK 式壁高欄の安全性照査 [2)]

1)　衝突試験の方法

DAK 式壁高欄における衝突試験は、**図-3.6.7** に示す重錘を用いた試験とした。

重錘の背面に取り付けたワーヤーロープを円弧状に引き上げ、所定の引き上げ高さ（*H*）まで引き上げ、その後、ワイヤーロープを開放して重錘を壁高欄に衝突させた。

重錘の引き上げ高さ（*H*）は、**表-3.6.2** に示す衝突条件に合わせ、設計荷重相当及び場所打ち壁高欄における耐力相当のそれぞれの衝突直前のエネルギーに相当する位置エネルギーとして引き上げ高さを計算している。

図-3.6.8 に DAK 式壁高欄の重錘を用いた衝突試験概要図を示す。

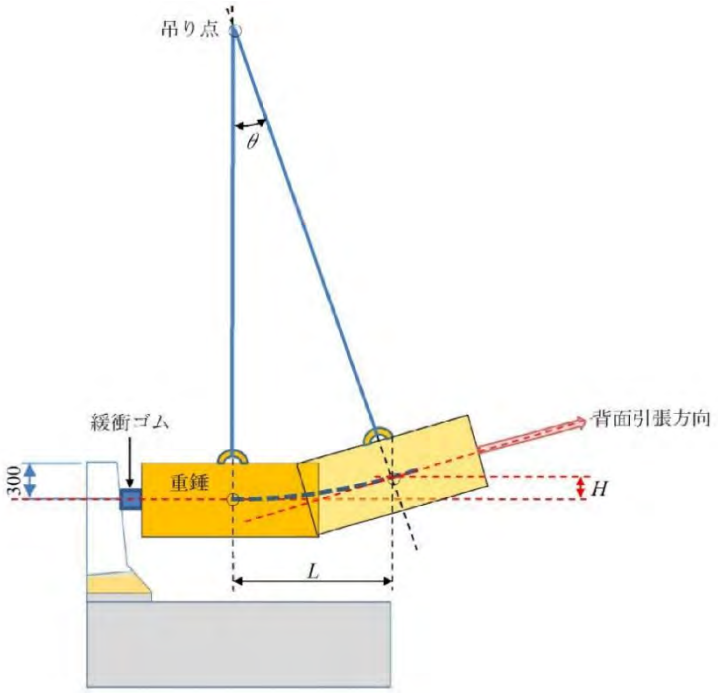


図-3.6.8　DAK 式壁高欄の重錘を用いた衝突試験概要図

2) 衝突荷重の衝突位置

DAK 式壁高欄の衝突試験における衝突荷重の衝突位置は、「**試験法 441**」に準拠し、**図-3.6.9** の通り、壁高欄中央部、端部、橋軸方向接合部の 3 箇所とし、200mm×200mm の緩衝ゴムの中心を壁高欄天端から 300mm 位置に合わせ、重錘を衝突させた。

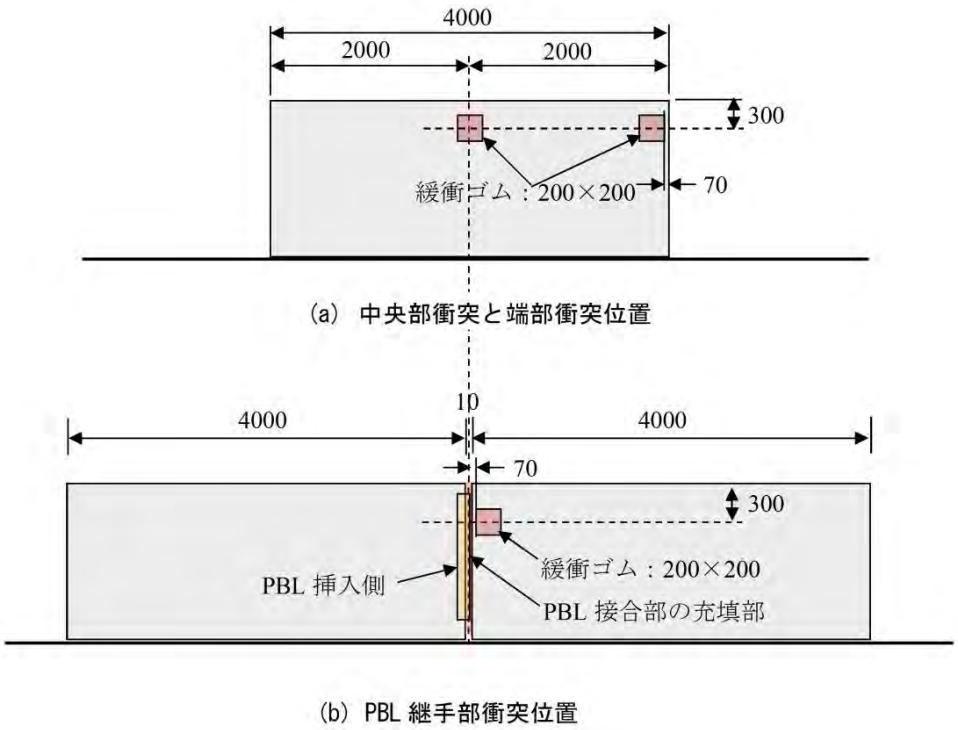


図-3.6.9　DAK 式壁高欄の衝突荷重の衝突位置

3）重錘の引き上げ高さ

衝突試験で用いた重錘の重量は、7.7t である。

重錘の振り子としての引き上げ高さについては、「試験法 441」の衝突直前のエネルギー（表-3.6.2 参照）に対し、運動エレルギーと位置エネルギーの等価則から、引き上げ高さを計算している。

試験で用いた引き上げ高さは、重錘の吊り高さも考慮して、表-3.6.4 の通りとし、試験時には、基本、吊り上げ高さを管理した。

表-3.6.4　衝突試験での衝突直前のエネルギーと重錘の引上げ高さの関係

衝突条件	衝突直前のエネルギー (kJ)	衝突角度 (度)	重錘の引上げ高さ (mm)
設計荷重相当	2.8	90	37
場所打ち壁高欄における耐力相当	28	90	371

4）衝突試験の手順

衝突安全性試験の手順は、次の通りとした。

① 設計荷重相当の衝突直前のエネルギー(2.8kJ)で、吊り上げ高さ(37mm)から重錘を衝突
② 場所打ち壁高欄における耐力相当の衝突直前のエネルギー(28kJ)で、吊り上げ高さ(371mm)から重錘を衝突
③ 壁高欄の破壊状況の確認のため、場所打ち壁高欄における耐力相当の衝突直前のエネルギー(28kJ)の 1.5 倍で、吊り上げ高さから重錘を衝突

上記手順により順次試験を行うが、③で破壊しない場合は、場所打ち壁高欄における耐力相当の衝突直前のエネルギー (28kJ) の 2 倍で吊り上げ高さから重錘を衝突させることとした。DAK 式壁高欄の衝突試験時の全景を**写真-3.6.1** に示す。

写真-3.6.1　DAK 式壁高欄の衝突試験時の全景

5）衝突試験結果

DAK 式壁高欄の標準部、端部及び PBL 接合部のそれぞれの試験体について、「**試験法 441**」に準じて衝突試験を行った結果は、以下の通りであった。

① 設計荷重相当の衝突直前のエネルギー(2.8kJ)での衝突試験では、各試験体ともひび割れは確認されず、DAK 式壁高欄は、弾性体として挙動した。
② 設計荷重相当の衝突直前のエネルギー(2.8kJ)での衝突試験で得られた鉄筋ひずみは、標準部及び PBL 接合部試験体とも、主鉄筋ひずみで 15μ程度であり、端部試験体では、30μ程度であった。結果として、端部では、標準部の倍のひずみが生じた。
③ 場所打ち壁高欄の耐力相当の衝突直前のエネルギー(28kJ)での衝突試験では、各試験体ともひび割れを生じたが、壁高欄の部分剥落も生じず、最大ひび割れ幅は、0.1mm から 0.3mm の範囲に留まった。

以上の結果、NEXCO の要求性能を満足し、DAK 式壁高欄の衝突安全性が確認されている。なお、本試験結果による DAK 式壁高欄の衝突安全性については、「**「試験法 441」に準拠した DAK 式プレキャスト壁高欄の性能証明書**」として NEXCO 総合技術研究所・橋梁研究室に提出済みである。

3.6.4　使用性に関する照査 [2)、4)]

使用性に関する照査については、NEXCO で設定された設計衝突荷重が、DAK 式壁高欄に作用した場合の壁高欄の部材としての性能及び橋軸方向の壁高欄同士の接合部の性能について、それぞれ、衝突荷重作用時における使用性の性能照査を行っている。

(1) 壁高欄の縦方向の照査

壁高欄の部材としての照査は、壁高欄縦方向（鉛直方向）の曲げに対する主鉄筋応力度の照査としている。

1) 縦方向の鉄筋配置

NEXCO では、「設計要領第二集 橋梁建設編　5-3 鉄筋コンクリート製防護柵 表 6-5-2、図 6-5-3 及び図 6-5-4」として、表-3.6.5 に鉄筋の配置本数と、図-3.6.10 に横方向鉄筋の配置図、また、図-3.6.11 に種別 SB の配筋例がそれぞれ示されている。

DAK 式壁高欄の鉄筋配置は、これらの鉄筋配置をそのまま踏襲している。

表-3.6.5　鉄筋の配置本数

種別	縦方向鉄筋（遮音壁高さH≦5m）	横方向鉄筋	
		本数	n
SS	D13@125 (D16@125)	8	4
SA	D13@125 (D16@125)	7	3
SB	D13@125 (D16@125)	6	2
SC	D13@125 (D16@125)		

注1）　縦方向鉄筋の（　）は端部1mの範囲の配置とする
注2）　横方向鉄筋の鉄筋径はD13（SD345）とする。

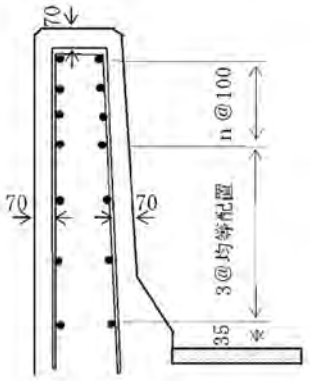
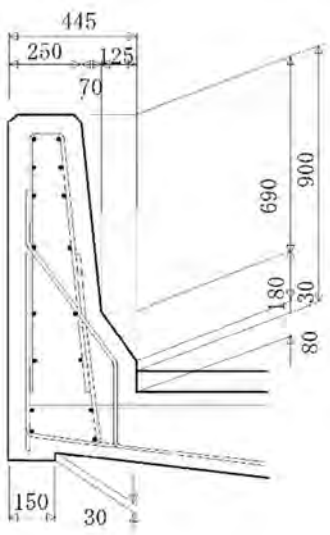
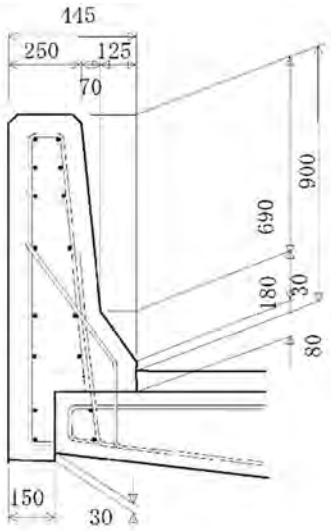


図-3.6.10　横方向鉄筋の配置図



(a)　RC床版の場合



(b)　PC床版の場合

図-3.6.11　鉄筋コンクリート製壁型防護柵の配筋例（種別 SB）

2）壁高欄の部材としての照査

DAK 式壁高欄は、**図-3.6.12** に示すように、基本、PCa 壁高欄を床版上に建込み、橋軸方向に並べ、床版との接合部及び橋軸方向接合部に接合モルタルを充填して一体構造を形成する工法である。

また、床版と PCa 壁高欄との鉄筋継手は、ループ鉄筋としている。

DAK 式壁高欄の部材としての照査では、「**3.4.1　作用のモデル化**」の**図-3.4.1** に示した通り、衝突荷重作用時については、壁高欄天端に作用する天端線荷重 P（kN/m）を用いて、**式-3.4.1** に従って計算される縦方向の設計応答値（設計曲げモーメント）に対して、壁高欄としての部材の安全性を照査している。

図-3.6.13 に DAK 式壁高欄の構造と鉄筋配置のイメージ図を示すが、部材の照査断面は、壁高欄の断面変化点である**設計断面①**及び床版上面の**設計断面②**である。

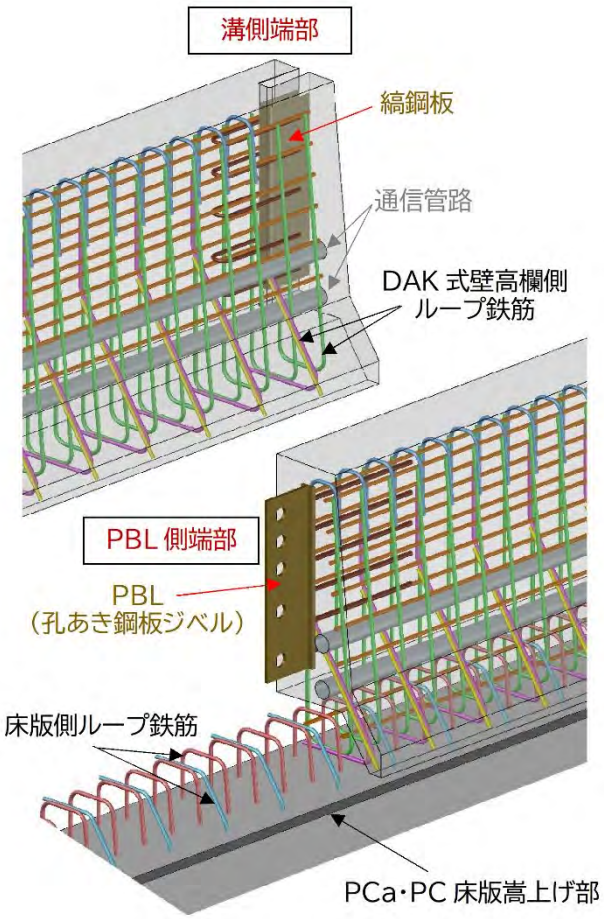


図-3.6.12　DAK 式壁高欄の構造と鉄筋配置

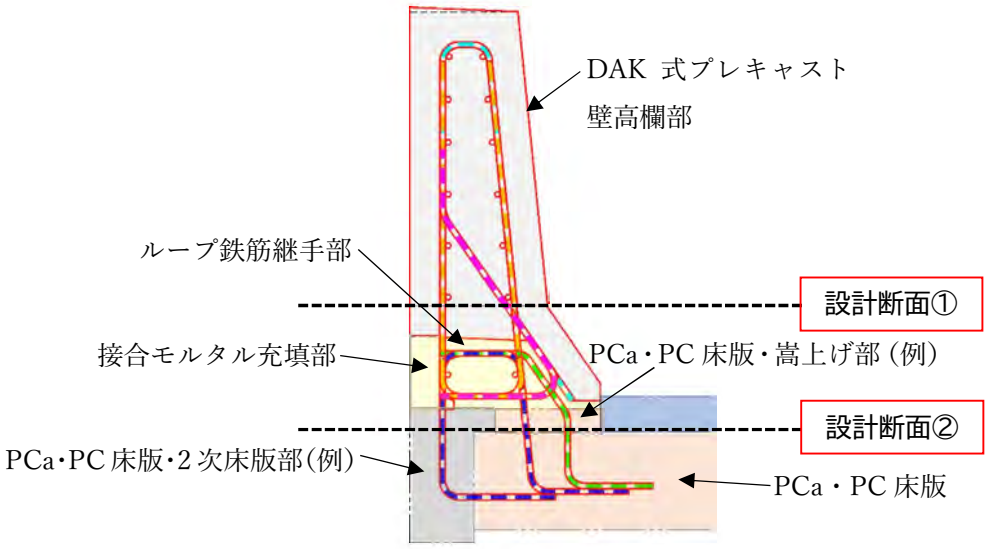
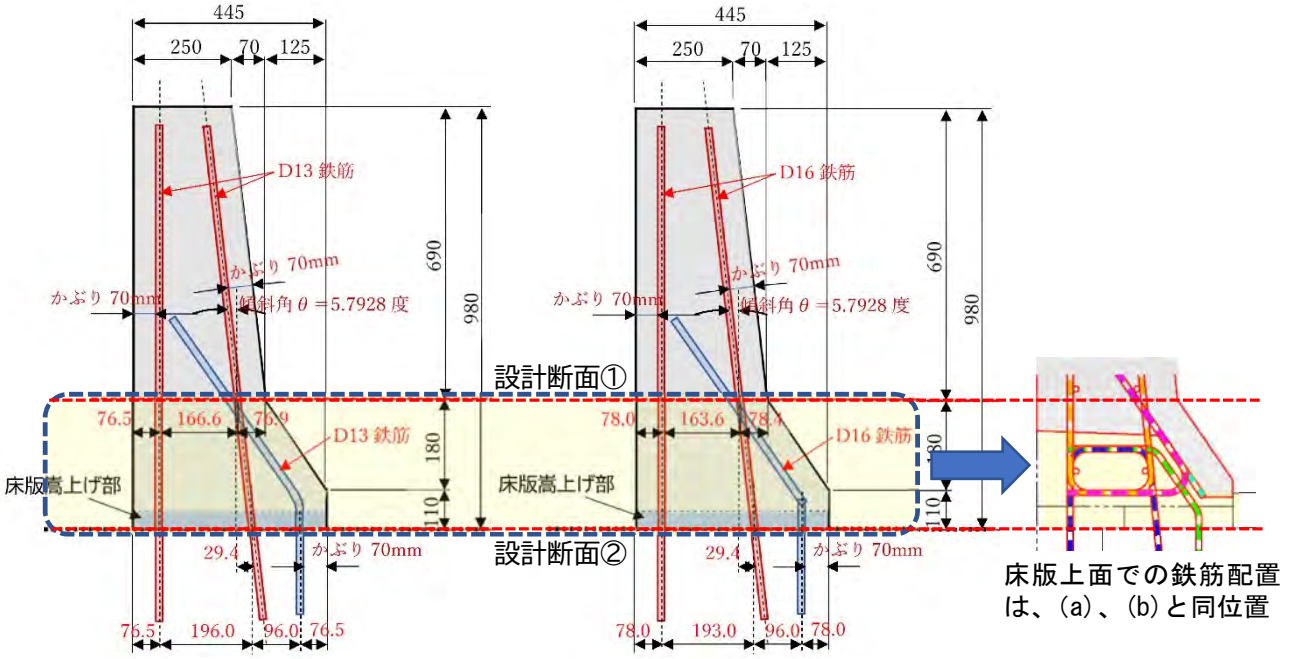


図-3.6.13　DAK 式壁高欄の鉄筋配置及び部材の設計断面位置

ここで、コンクリートかぶり 70mm での標準鉄筋配置と各寸法は、**図-3.6.14** の通りとなる。



(a) 標準部配筋（主鉄筋 D13）　(b) 端部配筋（主鉄筋 D16）　(c) DAK 式壁高欄接合部配筋

図-3.6.14　かぶり 70mm の場合の標準鉄筋配置と各寸法

部材の安全性の照査は、**式-3.6.6** に従っている。

$$\gamma_i \cdot S_d \ / R_{lim} \leqq 1.0 \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \text{式-3.6.6}$$

ここに、S_d　：設計応答値
R_{lim}　：設計応答値の限界値（**表-3.5.2** 参照）
γ_i　：一般には 1.0～1.2 とするが、衝突荷重作用時の検討では、1.0 としている。

これより、DAK 式壁高欄の部材設計を行い、安全性の確認を行なう。

部材設計は、衝突荷重による安全性の照査であることから、**図-3.6.14** に示す壁高欄前面側主鉄筋を引張鉄筋とし、部材を単鉄筋の RC 断面として照査している。

設計断面①は、PCa 壁高欄内に照査断面があるため、基本、コンクリート部材としての照査を行なっている。

一方、設計断面②は、**図-3.6.14** に示すように、床版を一部嵩上げした構造となっているが、設計断面②の照査では、床版上に接合モルタルを充填すると仮定して、モルタル部材としての照査を行なっている。

照査する主鉄筋配置に関する単鉄筋 RC 断面の基本構造を**図-3.6.15** に示し、標準部鉄筋配置での設計条件を**表-3.6.6** に、端部鉄筋配置での設計条件を**表-3.6.7** にそれぞれ示す。

なお、照査する引張鉄筋は、前面ハンチ筋を無視した主鉄筋のみとし、かぶりは 70mm としている。

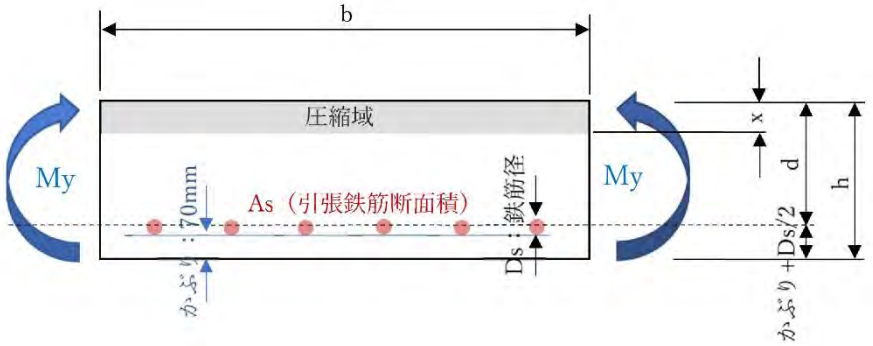


図-3.6.15　設計用 RC 断面の諸元

表-3.6.6　標準部主鉄筋配置（図-3.6.14(a)）における設計条件

設計断面	設計応答値 My(kN・m/m)	部材幅 b（mm）	引張鉄筋の有効高さ d（mm）	部材厚 h（mm）	鉄　筋断面積 As（mm²）	ヤング係数 n
設計断面①	15.180 1)	1000	243.5 2)	320	1013.6 3)	15 4)
設計断面②	21.560 1)	1000	272.5	445	1013.6	15 4)

注）1)：表-3.4.2 に示した設計応答値（設計曲げモーメント）
2)：図-3.6.14(a)の主鉄筋の図心は、設計断面①の水平かぶりに鉄筋径の 1/2 を足した値としている。
3)：設計断面①の主鉄筋は、若干傾斜して配置されているが、設計用の鉄筋断面積は、通常の鉄筋断面積を用いて計算している。従って、鉄筋配置は、表-3.6.6 に示す通り、NEXCO の標準鉄筋配置(D13@125)とし、As＝(1000/125)×126.7mm²＝1013.6mm²。
4)：ヤング係数（n）の他、設計断面①はコンクリート部材として、設計断面②はモルタル部材として、表-3.2.1 に示す材料の特性値を用いて設計している。

表-3.6.7　端部主鉄筋配置（図-3.6.14(b)）における設計条件

設計断面	設計応答値 My(kN・m/m)	部材幅 b（mm）	引張鉄筋の有効高さ d（mm）	部材厚 h（mm）	鉄　筋断面積 As（mm²）	ヤング係数 n
設計断面①	30.360 1)	1000	241.6 2)	320	1588.8 3)	15 4)
設計断面②	43.120 1)	1000	271.0	445	1588.6	15 4)

注）1)：表-3.4.2 に示した設計応答値（設計曲げモーメント）の倍の値としている。
2)：図-3.6.14(b)の主鉄筋の図心は、設計断面①の水平かぶりに鉄筋径の 1/2 を足した値としている。
3)：設計断面①の主鉄筋は、若干傾斜して配置されているが、設計用の鉄筋断面積は、通常の鉄筋断面積を用いて計算している。従って、鉄筋配置は、表-3.6.7 に示す通り、NEXCO の標準鉄筋配置(D16@125)とし、As＝(1000/125)×198.6mm²＝1588.8mm²。
4)：ヤング係数（n）の他、設計断面①はコンクリート部材として、設計断面②はモルタル部材として、表-3.2.1 に示す材料の特性値を用いて設計している。

表-3.6.6 及び表-3.6.7 の各設計条件による単鉄筋 RC 部材としての応力照査の結果は、表-3.6.8 の通りである。

なお、限界値については、表-3.5.2 に示した通りである。

表-3.6.8　単鉄筋 RC 断面での応力照査の結果

設計部材の種類	設計断面の種類と主鉄筋配置	材料の種別	照査応力度 S_d (N/mm²) ①	限界値 R_{lim} (N/mm²) ②	判定 ②／①	
標準部 鉄筋配置	設計断面① D13 ctc125	コンクリート	1.9	19.5	10.26	OK
		鉄筋	68.2	300	4.40	OK
	設計断面② D13 ctc125	モルタル	2.3	22.5	9.78	OK
		鉄筋	86.2	300	3.48	OK
端部 鉄筋配置	設計断面① D16 ctc125	コンクリート	3.3	19.5	5.91	OK
		鉄筋	89.8	300	3.34	OK
	設計断面② D16 ctc125	モルタル	3.9	22.5	5.77	OK
		鉄筋	113.0	300	2.65	OK

以上の結果、NEXCO の「設計要領第二集 橋梁建設編 5-3 鉄筋コンクリート製防護柵 表 6-5-2、図 6-5-3 及び図 6-5-4」としての表-3.6.5 及び図-3.6.11 の鉄筋配置に従って配置していれば、設計応答値に対して十分安全であることが分かる。

また、衝突荷重による設計応答値は、限界値に比べ相当量の余裕があることから、SB 種の壁高欄では、少なくとも、表-3.6.5 に示す鉄筋配置で主鉄筋が配置されている場合には、衝突荷重に関する安全性の照査は省略してよいと思われる。

一方、DAK 式壁高欄では、床版との縦方向鉄筋継手をループ鉄筋継手としており、衝突荷重による壁高欄の引張挙動は、連続鉄筋による挙動と同等であると仮定し、設計断面①及び設計断面②に配置された主鉄筋を引張鉄筋として計算しているが、この衝突荷重作用時のループ鉄筋継手による主鉄筋の引張挙動については、「試験法 441」による衝突試験や衝突解析によっても確認しており、一般的な連続鉄筋と同等とみなして良いとしている。

なお、DAK 式壁高欄の設計断面①及び設計断面②における部材設計については、別途「NEXCO 剛性壁高欄(コンクリート製壁高欄)の衝突荷重による鉄筋応力度の検証「報告書」」[2] として取りまとめており、NEXCO 総合技術研究所 橋梁研究室に提出済みで、DAK 式壁高欄の標準鉄筋配置として承認されている。

（2）PCa 壁高欄同士の橋軸方向接合部の照査 [1)、2)]

DAK 式壁高欄の場合、PCa 壁高欄同士の橋軸方向接合構造として、両者の連続性を保持する目的や、面外方向のずれを生じさせない目的で、孔あき鋼板ジベルを採用している。

ここでは、DAK 式壁高欄特有の孔あき鋼板ジベル（PBL）、PBL 鋼板、PBL 鋼板周りの補強鉄筋の照査を行なっている。

1）DAK 式壁高欄の橋軸方向接合構造

DAK 式壁高欄の橋軸方向接合の構造的特長は、「**第 2 章　DAK 式壁高欄の特長　2.1　構造的特長**」でも説明したが、**図-3.6.16** に示す通り、PBL 側端部に突出させた孔あき鋼板（PBL）を溝側端部に配置された縞鋼板内に挿入し、その後、接合モルタルで一体化させた構造である。

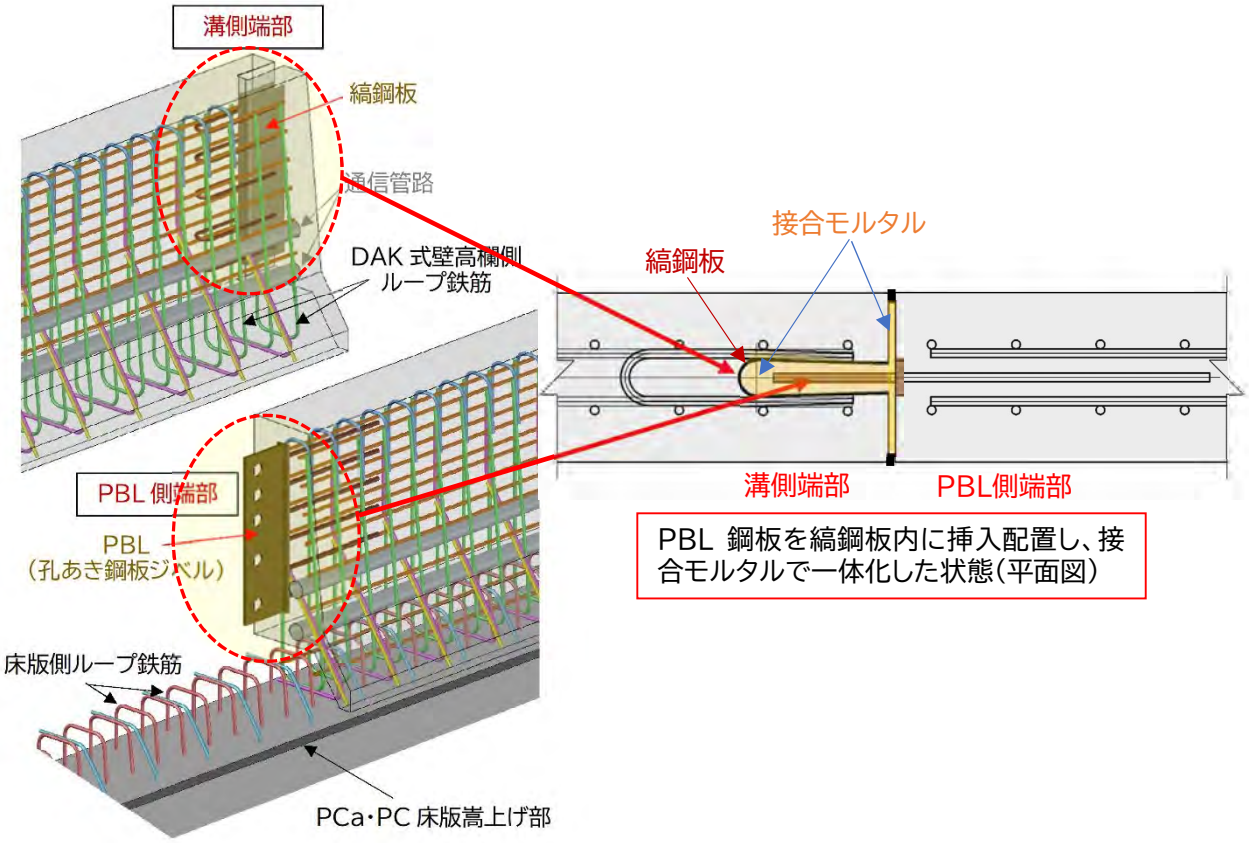


図-3.6.16　DAK 式壁高欄の橋軸方向接合構造（PBL 構造）

この場合、縞鋼板は、接合モルタルが充填される溝内での橋軸方向引張力に対し、孔あき鋼板とモルタルの一体性を確保するため、また、孔あき鋼板の橋軸方向引張力に対する抵抗性を向上させる目的で配置している。

2）DAK 式壁高欄の橋軸方向接合部の照査方法

DAK 式壁高欄の接合部の照査方法は、図-3.6.17 に示す照査フローに準じている。

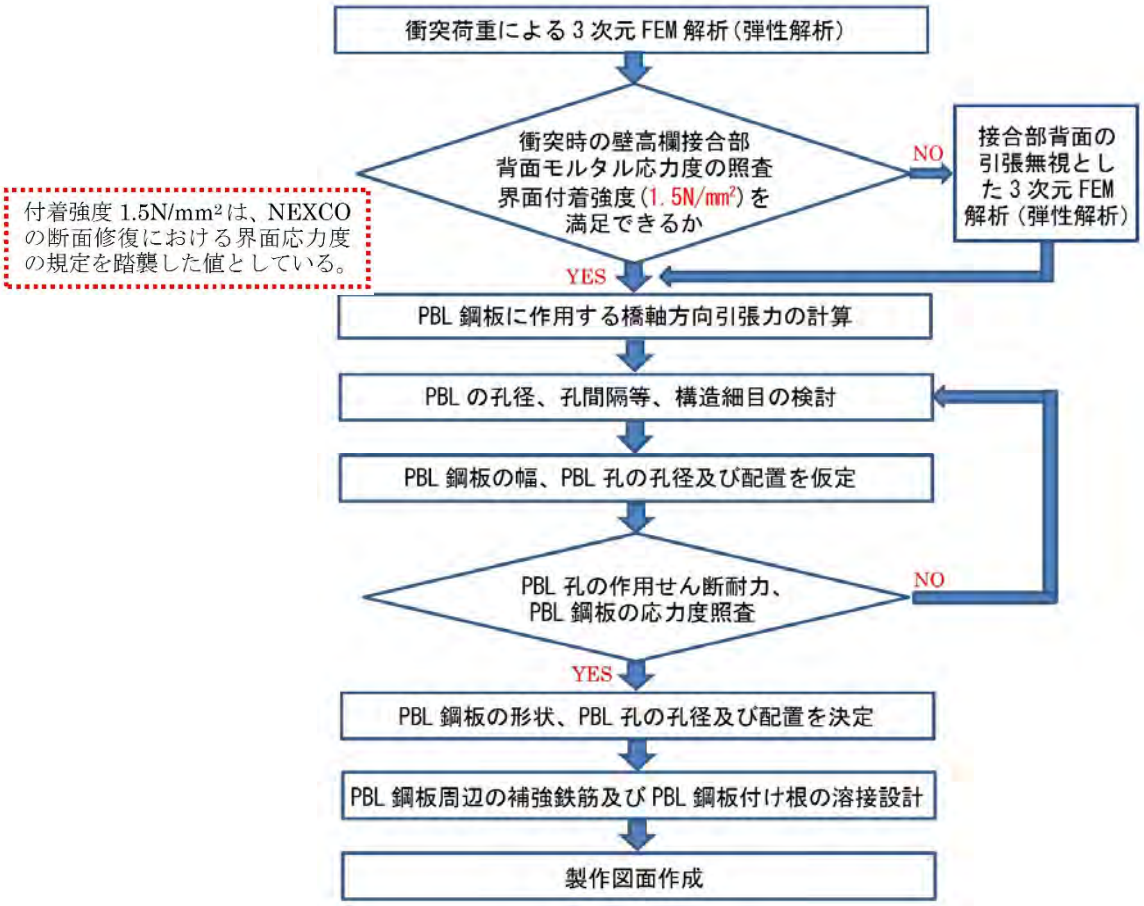


図-3.6.17　DAK 式壁高欄の橋軸方向接合部の照査のフロー

3）DAK 式壁高欄の橋軸方向接合部の照査条件

（a）設計衝突荷重

DAK 式壁高欄の橋軸方向接合部の照査のための荷重作用としては、衝突荷重のみを考慮しており、この衝突荷重の計算は、基本、「車両用防護柵標準仕様・同解説（平成 16 年 3 月）」の計算方法に準じている。

NEXCO のフロリダ型 SB 種の壁高欄では、表-3.4.1 に示した通り、衝突荷重は、F＝58 kN となる。

（b）荷重作用の組合せ

橋軸方向接合部の照査のための荷重の組合せは、表-3.3.1 に示した通りである。

（c）応力度の割増係数

橋軸方向接合部の照査のための許容応力度の割増係数は、表-3.5.1 に示した通りである。

（d）応力度の限界値

橋軸方向接合部の照査のための応力度の限界値は、表-3.5.2 に示した通りである。

4）照査用応答値の算出

（a）照査用応答値の算出の考え方

DAK 式壁高欄の橋軸方向接合部では、壁高欄天端に衝突荷重が作用した場合、**図-3.6.18** に示す継手部の挙動と断面力が作用することが分かっている。

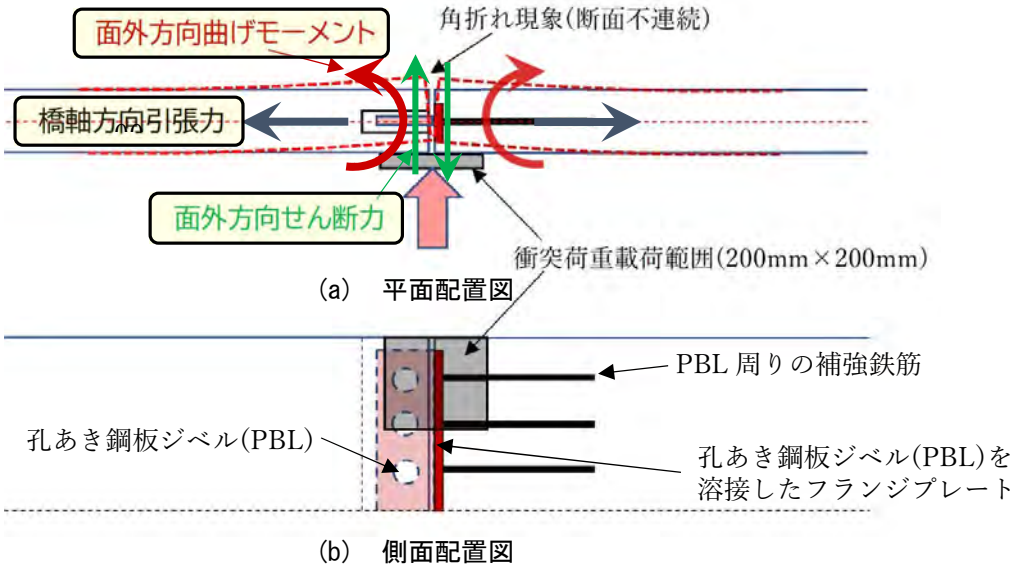


図-3.6.18　DAK 式壁高欄の衝突荷重による橋軸方向接合部の面外変形と作用断面力

従って、これらの断面力を抽出するため、各部材の構造を詳細に反映できる 3 次元 FEM 解析モデルを構築して弾性解析を実施している。

解析モデルは、**図-3.4.3** に示した通りである。

解析モデルの構築にあたっては、安全側の断面力が算出されるよう、フロリダ型の断面形状ではなく、SB 種の断面変化を無視し、面外変形が大きくなるように壁高欄天端が 250mm 幅一定の等断面壁高欄形状としている。また、橋軸方向の長さは、衝突荷重が橋軸方向の壁高欄に及ぼす影響を考慮して、4.0m としている。

更に、**図-3.6.17** の照査フローに示したが、橋軸方向接合部に接合モルタルを完全に充填した一体構造で解析した結果、衝突荷重によって壁高欄接合部背面のモルタル部とプレキャスト壁高欄部の界面における橋軸方向引張応力度が 1.5N/mm^2 を超えたため、背面部の接合モルタル部のみ gap 要素を設け、接合モルタルを無視した解析モデルとしている。

ここで、界面引張応力度の限界値の 1.5N/mm^2 は、「**第 2 章　DAK 式壁高欄の特長　2.2 材料的特長**」で説明した通り、NEXCO の断面修復材に求められる界面の付着応力度の限界値を引用したものである。

解析に用いた各材料の物性は、**表-3.2.2**、**表-3.2.3** 及び**表-3.2.4** にそれぞれ示した通りである。

（b）照査用応答値の算出

照査用応答値の算出は、以下の各照査を目的とするため、「3.4.2　設計応答値の算出」で説明したように、図-3.6.18 に示す PBL 鋼板付け根の各設計応答値を抽出している。

① 孔あき鋼板ジベルの安全性の照査
② PBL 鋼板の安全性の照査
③ PBL 周りの補強鉄筋の安全性の照査
④ PBL 鋼板と PBL 側壁高欄に配置されたフランジプレートとの溶接の安全性の照査

各設計応答値の解析結果は、図-3.4.5 に示した通りである。

5）孔あき鋼板ジベルの安全性の照査 [9)]

（a）照査方法

照査方法は、「3.4.2　設計応答値の算出　（2）橋軸方向接合部の孔あき鋼板ジベル等の安全性照査のための設計応答値の算定」の図-3.4.4 に示した通り、溝内に充填された接合モルタルが、縞鋼板に拘束された状態で PBL 鋼板に作用する橋軸方向引張力によって、孔あき鋼板ジベルが橋軸方向に引き抜かれようとする挙動に対して PBL 鋼板の孔に充填された接合モルタルが 2 面せん断として抵抗するという考え方である。

なお、孔あき鋼板ジベルの照査は、「複合構造標準示方書 ▌原則編 ▌設計編　2014 年制定(土木学会)」に準ずるものとした。

「複合構造標準示方書 ▌原則編 ▌設計編　2014 年制定(土木学会)」の規定によると、孔あき鋼板ジベルの照査方法は、PBL 鋼板の孔にコンクリートが充填された場合の照査方法である。しかしながら、DAK 式壁高欄では、図-3.4.4 に示したように、PBL 鋼板の孔の中に充填されているのはモルタルである。

従って、DAK 式壁高欄の孔あき鋼板ジベルの照査では、貫通鉄筋が無いモルタルの 2 面せん断耐力の評価が必要となる。

（b）モルタルのせん断耐力の評価

モルタルのせん断耐力の評価は、以下の文献を参考に、図-3.6.19 に示すように、（せん断耐力比）と（孔の面積×圧縮強度）の関係を用いた。

【参考文献】
1）Hai ら：モルタルを用いた孔あき鋼板ジベルのせん断耐力の一考察，土木学会第 71 回年次学術講演会，2016.9.
2）中島ら：単純な押抜き試験に基づく孔あき鋼板ジベルのせん断耐力評価，土木学会論文集（構造・地震工学），Vol.68，No.2，pp.495-508，2012.3.
3）中島ら：貫通鉄筋の無い孔あき鋼板ジベルのせん断抵抗機構とせん断耐力評価，土木学会論文集（構造・地震工学），Vol.70，No.5，pp.II 20-II 30，2014.5.
4）藤山ら：孔内粗骨材のせん断抵抗に着目した孔あき鋼板ジベル耐荷機構の基礎的研究，第 11 回複合・合成構造の活用に関するシンポジウム，No.1，pp.1-8，2015.11.

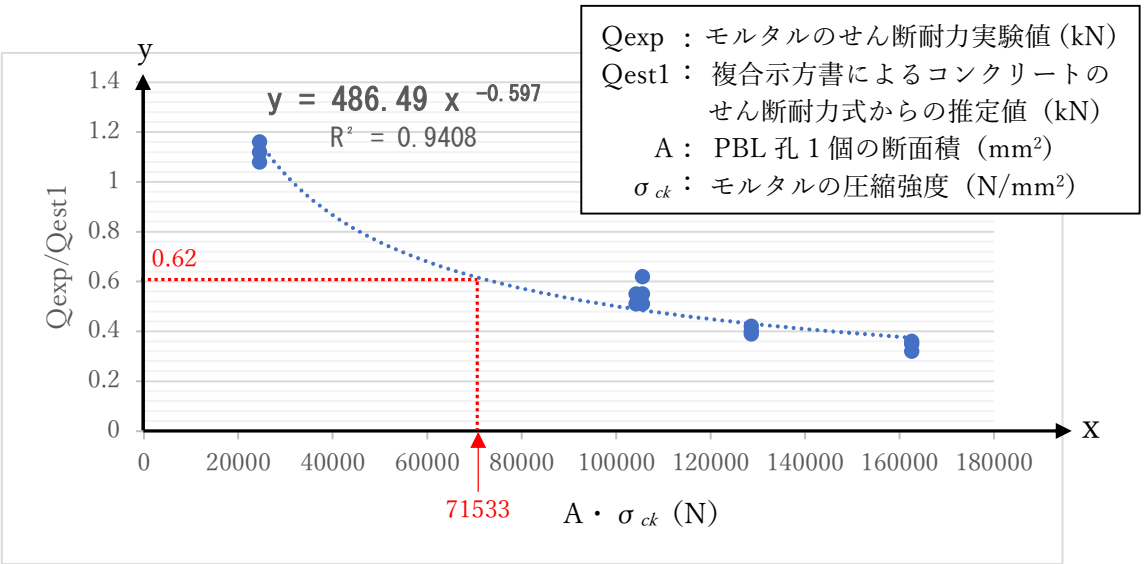


図-3.6.19　モルタルを用いた場合の孔あき鋼板ジベルのせん断耐力の相関図

DAK 式壁高欄の照査では、孔あき鋼板ジベルの孔の径は 45mm であり、また、モルタル強度の特性値は $\sigma_{ck(m)}$＝45N/mm² であるため、**図-3.6.19** の横軸は、A・σ_{ck}＝71533 N となる。

従って、**図-3.6.19** の縦軸は、Qexp/Qest1≒0.62 となる。

これより、モルタルのせん断耐力は、コンクリートのせん断耐力の 62%と評価できる。

（c）PBL 孔の安全性の照査 [2)、9)]

PBL 鋼板の孔の大きさや間隔については、構造細目を考慮して決定しているが、特に、PBL 鋼板の孔に作用する橋軸方向引張力、つまり、PBL 鋼板の孔に作用する 2 面せん断力とそのせん断力による PBL 鋼板（孔あき鋼板ジベル）の安全性の照査方法は、「**複合構造標準示方書 ▌原則編▌設計編　2014 年制定　土木学会**」に準じている。

この「**複合構造標準示方書**」によると、孔あき鋼板ジベルの孔に充填されたコンクリートの終局耐力は、**式-3.6.7** により算出できる。

$$V_{psud} = 1.60\, d^2 f'_{cd} / \gamma_b \quad \text{（貫通鉄筋のない場合）} \qquad \cdots\cdot \text{式-3.6.7}$$

ただし、35mm ≦ d ≦ 90mm、12mm ≦ t ≦ 22mm、24N/mm² ≦ f'_{cd} ≦ 57 N/mm² の条件下である。

ここに、V_{psud} ：孔あき鋼板ジベルの孔 1 個あたりの設計せん断耐力（N）
d ：孔径（mm）
t ：鋼板の板厚（mm）（12mm を採用）
f'_{cd} ：コンクリートの設計圧縮強度（N/mm²）（40N/mm² 仕様）
γ_b ：部材係数。一般に 1.3 としてよいが、孔あき鋼板ジベルのせん断耐力を小さく設定した方が構造物の性能を危険側に評価する場合には 1.0 とする。

DAK 式壁高欄の場合、**式-3.6.7** の γ_b は、1.3 と 1.0 の両方で計算している。

ここで、PBL 鋼板の孔に充填されるモルタルのせん断耐力は、前述の検討より、コンクリートに対するモルタルのせん断耐力の低減率を考慮する必要があり、本照査では、**式-3.6.7** に低減係数 ρ を乗じて修正した**式-3.6.8** を用いて計算している。

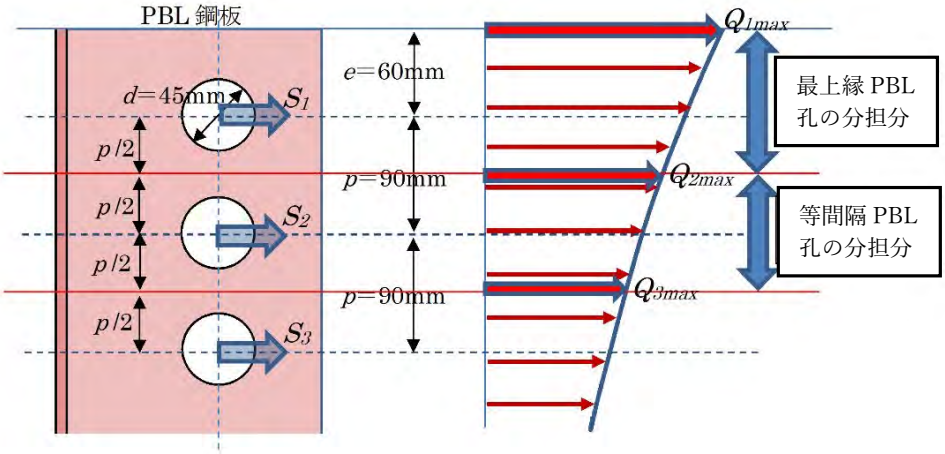
$$V_{psud} = \rho \cdot 1.60\, d^2 f'_{cd} / \gamma_b \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad \text{式-3.6.8}$$

ここに、ρ：モルタルのコンクリートに対する低減係数

本照査による孔あき鋼板ジベルの設計せん断耐力は、安全側を考慮して、**式-3.6.8** の低減係数を前述の 0.62 から「$\rho = 0.5$」に落として照査している。

次に、PBL 鋼板の孔のモルタルが分担する 2 面せん断力については、**図-3.4.5** に示した PBL 鋼板付け根の橋軸方向引張力が、そのまま PBL 鋼板の孔に伝達されると仮定して安全側の考えを基に照査している。

従って、PBL 鋼板の孔 1 個に伝達される橋軸方向引張力、つまり孔 1 個当たりの 2 面せん断力は、**図-3.6.20** に示すように、各孔の橋軸方向引張力の分担分とし、安全性の照査を行なうため、それぞれ、その最大引張力を用いている。なお、PBL 鋼板の孔の配置は、構造細目より決められた配置としている。



(a) PBL 鋼板の孔の配置と間隔　(b) PBL 鋼板に生じる橋軸方法引張力分布

図-3.6.20　PBL 孔 1 個あたりの橋軸方向引張力の分担範囲と分担分の関係

上記により、各 PBL 鋼板の孔に作用する橋軸方向引張力については、各孔の分担範囲の上縁の最大引張力（Q_1max、Q_2max、Q_3max）がその範囲に均一に作用すると考えている。

従って、衝突荷重作用時に PBL 鋼板の孔に作用する 2 面せん断力は、**式-3.6.9** のように関係付けられる。

$$S_1 = Q_1max \cdot (e + p/2) \geqq S_2 = Q_2max \cdot p \geqq S_3 \qquad \cdots\cdots \quad \text{式-3.6.9}$$

以上より、照査で用いる PBL 鋼板の孔の作用せん断力は、$S_1 = Q_1max \cdot (e + p/2)$ ＝102 kN/m×（0.06 m+0.045 m）＝10.71 kN＝10710 N となる。

なお、**式-3.6.8** は、モルタルに換算したせん断耐力で、終局荷重作用時の耐力として示されるため、衝突荷重作用時の作用せん断力を終局荷重作用時のせん断耐力として、限界状態を合わせる必要がある。

NEXCO の壁高欄の場合、衝突荷重が作用した場合の壁高欄部材の照査では、引張鉄筋の作用応力度が許容応力度を 1.5 倍した応力度の限界値以下であることで安全性を確保している。そのため、孔あき鋼板ジベルを照査する場合の終局荷重作用時の作用せん断耐力は、限界状態を合わせることによって、**式-3.6.10** で照査できることになる。

$$\text{PBL 孔の終局せん断力} = \frac{\text{衝突荷重作用時の PBL 孔の作用せん断力}}{1.5} \times 3 \qquad \textbf{式-3.6.10}$$

これまでの照査方法を基にした照査結果は、**表-3.6.9** の通りとなり、衝突荷重作用時での孔あき鋼板ジベルは、十分安全であることを確かめている。

表-3.6.9　PBL 孔の安全性に対する照査結果

終局荷重時のモルタルのせん断耐力（V_{psud}）（**式-3.6.8** より計算）(N)					判定	作用せん断力に対する終局せん断力 (N)	
ρ	d (mm)	f'_{cd} (N/mm²)	γ_b	V_{psud} (N)		終局せん断力（**式-3.6.10**）(N)	作用せん断力（S_l）(N)
0.5	45	45	1.0	72,900	≧OK	21,420	10,710
0.5	45	45	1.3	56,077	≧OK	21,420	10,710

6）PBL 鋼板の安全性の照査

ここでは、**表-3.6.9** に示した衝突荷重作用時の作用せん断力（S_l）に対して、PBL 鋼板そのものが安全であるかを確認している。

（a）安全性の照査方法

DAK 式壁高欄の構造では、孔あき鋼板ジベル（PBL）が配置された溝には接合モルタルが充填され一体化されるため、衝突荷重作用時（58.0 kN 作用時）における PBL 鋼板と接合モルタルの界面は一体構造と見なし、両者の界面の付着が切れないと仮定した場合の安全性の照査を行なっている。

つまり、孔あき鋼板ジベルの孔に橋軸方向引張力（2 面せん断力）（**表-3.6.9**）が作用した場合、孔周りの PBL 鋼板に変形や応力が生ずると仮定し、ここでは、PBL 鋼板に生ずると考えられる応力度に着目して安全性の照査を行っている。

安全性照査のための解析モデルは、シェル構造とした。解析モデルの境界条件としては、PBL 鋼板付け根を固定端とし、その他の端部は、全て自由端としてモデル化している。これは、PBL 鋼板と周囲の接合モルタルとの付着が切れたとし、PBL 孔に充填された接合モルタルのせん断抵抗力が PBL 鋼板に作用するとした安全側の考えに基づいている。

（b）安全性照査のための解析モデル

照査のための解析モデルは、図-3.6.21 に示すように、PBL 高欄の板厚を考慮したシェルモデルとしている。

この場合、PBL 孔に作用させる解析上の荷重については、孔のモルタルに橋軸方向引張力が作用した場合、孔の背面（固定端側の孔とモルタルの界面）には引張力が作用すると考えられるため、引張側のモルタルを無視して、モルタルの半分が圧縮側に作用すると仮定している。

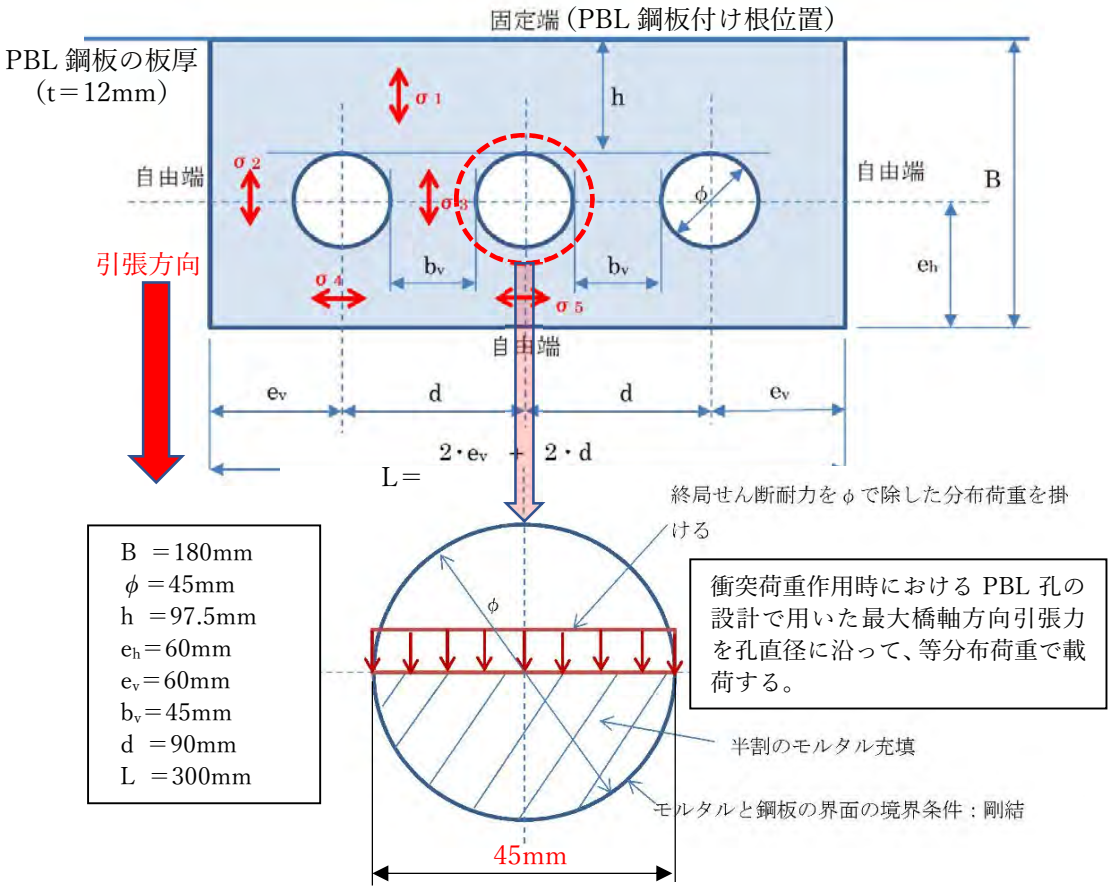


図-3.6.21　解析モデルの構造、境界条件及び荷重の載荷方法

（c）照査結果

解析の結果、PBL 鋼板に作用する設計応答値は、限界値より小さいことを確認しており、PBL 鋼板の安全性は確認されている。

7）PBL 周辺の補強鉄筋の安全性の照査 [2)]

（a）照査方法

PBL 鋼板に作用する断面力に対して、PBL 鋼板周りに補強鉄筋を配置しているが、ここでは、この補強鉄筋の照査を行なっている。

照査方法は、以下の通りである。

① 補強鉄筋は、図-3.6.22 に示す溝側壁高欄の補強鉄筋①と PBL 側壁高欄の補強鉄筋②の 2 種類である。

② 補強鉄筋①の設計では、衝突荷重作用時に PBL 孔に作用した橋軸方向引張力が、PBL 孔中心から 45 度に支圧力として PBL 鋼板外側の壁高欄部材に作用すると考える。この時の部材設計のための対象構造は、図-3.6.22 の黒の点線を設計断面として縞鋼板背面を固定端とする RC 構造の片持ち梁としている。

③ 補強鉄筋②の設計では、衝突荷重作用時に PBL 鋼板の付け根に作用する軸力と曲げモーメント(図-3.4.5 の設計応答値)が PBL 側壁高欄に作用するとし、図-3.6.22 の青の点線を設計断面とした RC 構造の部材としている。

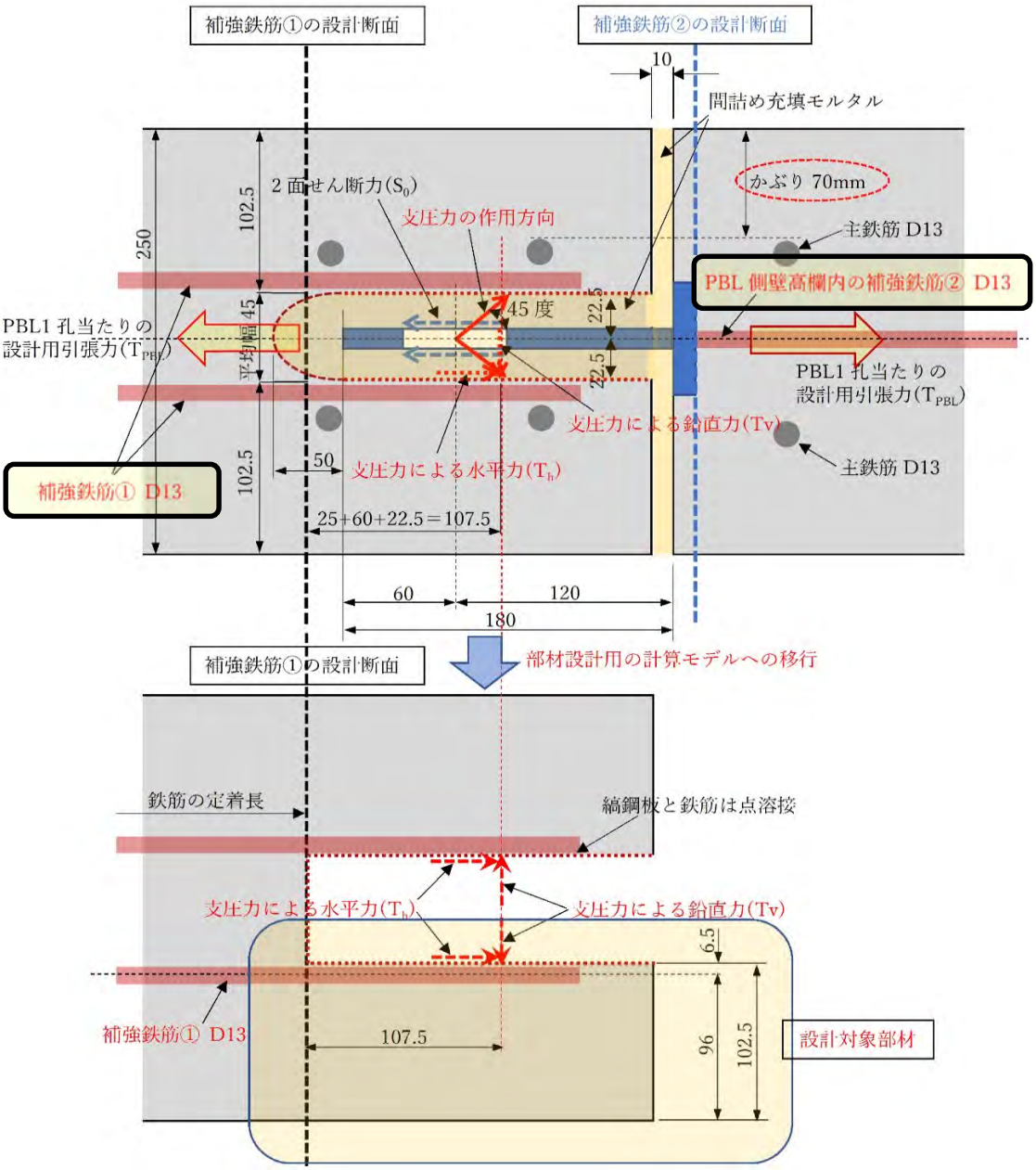
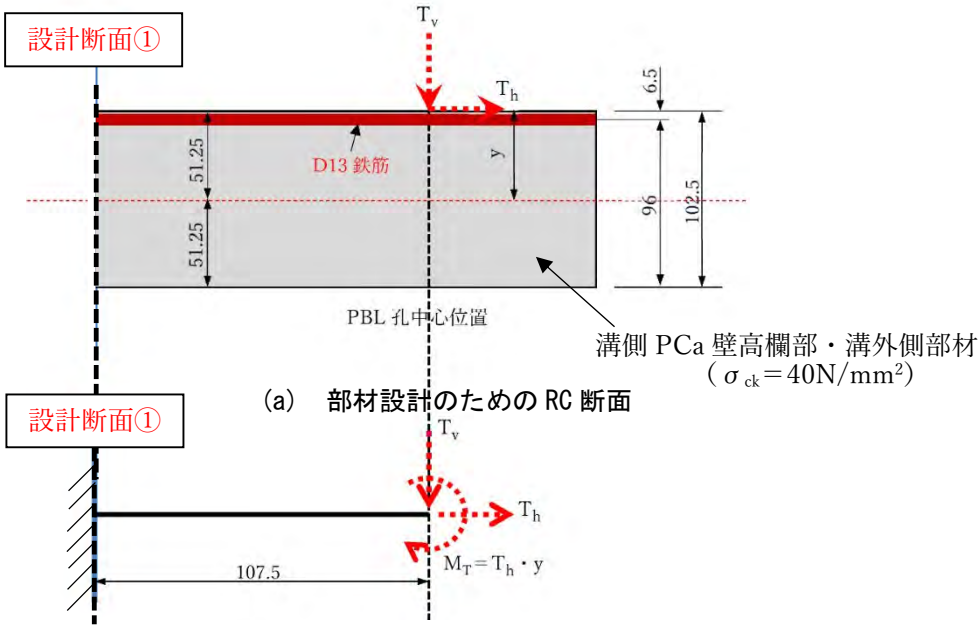


図-3.6.22　設計対象とする補強鉄筋の設計上の配置、設計対象部材及び設計断面位置

（b）補強鉄筋①の照査

溝側壁高欄内の補強鉄筋①の照査では、前記の照査方法を基本として、**図-3.6.23** に示す計算モデルにて、RC 断面の部材照査を行い、設計応答値が限界値を下回ることを確認している。



(a)　部材設計のための RC 断面

(b)　部材設計のための構造計算モデル

図-3.6.23　部材設計に用いる RC 断面と構造計算モデル

部材照査に用いた設計応答値は、**式-3.6.9** で計算した PBL 孔に作用する最大せん断力（10.71 kN）の 1/2 が 2 面せん断力として PBL 孔の両側にそれぞれ作用するとしている。

・橋軸方向引張力：T_h＝5.355 kN

・曲げモーメント：$M = M_T + Tv \times 0.1075\text{m}$

＝0.850 kN・m

・せん断力　　：T_v＝5.355 kN

RC 断面としての部材照査の結果、補強鉄筋に作用する衝突荷重作用時の引張応力度が限界値を下回っており、安全性が確認されている。

（c）補強鉄筋②の照査

補強鉄筋②の照査については、**図-3.6.24** に示す通り、PBL 側壁高欄の中心に配置されている補強鉄筋について照査している。

衝突荷重作用時の補強鉄筋の設計では、橋軸方向継手部（引張側の接合モルタルを無視した部分）の PBL 鋼板付け根には、**図-3.6.18** に示したように、橋軸方向引張力、面外方向曲げモーメント、及び面外方向せん断力が作用するが、衝突荷重作用時の補強鉄筋②の照査では、せん断力を無視した曲げ・軸力部材として照査している。

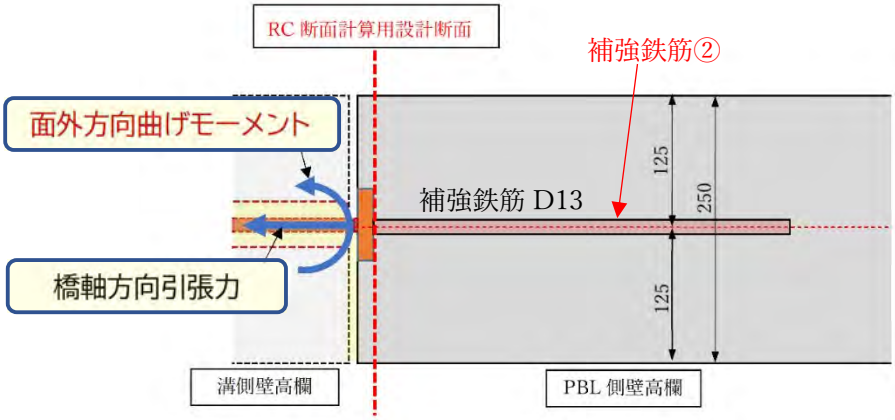


図-3.6.24　PBL 側壁高欄の補強鉄筋②の設計用 RC 断面計算モデル

ここでは、安全側の照査を考慮して、補強鉄筋①の照査方針と同様、PBL 鋼板天端の最大断面力（図-3.4.5 に示した最大断面力）が下方にも連続して作用すると考えている。

従って、補強鉄筋②の照査のための部材寸法は、図-3.6.25 に示す通り、PBL 鋼板天端から孔 3 個分の有効高さ 310mm とし、その範囲に D13 鉄筋を 3 本配置する。

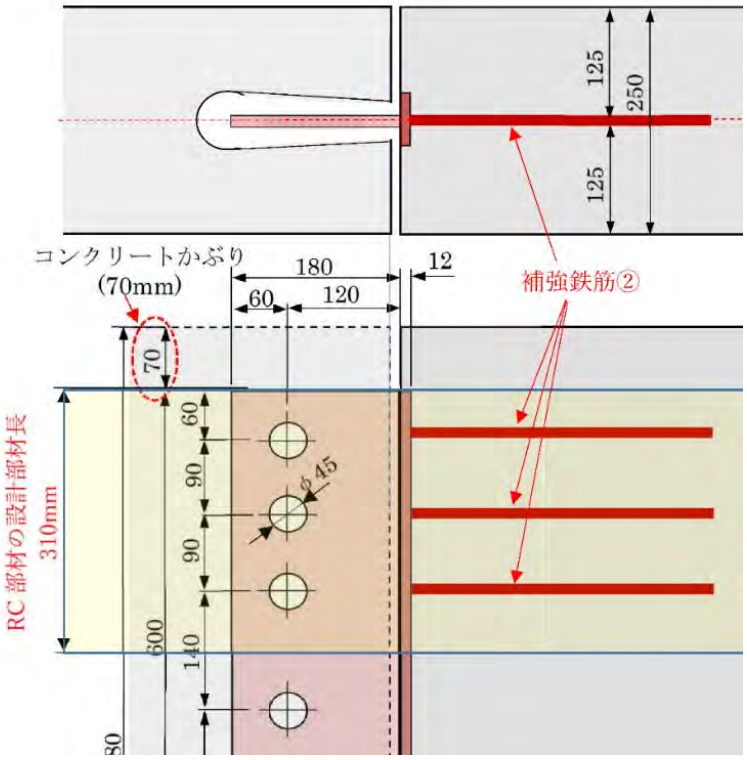


図-3.6.25　補強鉄筋②の設計範囲と補強鉄筋の配置

衝突荷重作用時における RC 断面としての部材照査の結果、鉄筋に作用する引張応力度が限界値を下回っており、補強鉄筋の安全性が確認されている。

（d）鉄筋の定着長

補強鉄筋①及び補強鉄筋②は、コンクリートの設計基準強度が σ_{ck}=40 N/mm^2 の PCa 壁高欄内に定着されるため、鉄筋の定着長は、「道路橋示方書の規定」に準拠して計算し、引張を受ける設計断面からの定着長が満足されている事を確認している。

8）PBL 鋼板と PBL 側壁高欄に配置されたフランジプレートとの溶接の安全性の照査

（a）照査方法

図-3.6.26 に示すように、PBL 鋼板と PBL 側壁高欄に埋め込まれたフランジプレートとは PBL 鋼板下端両面で隅肉溶接している。

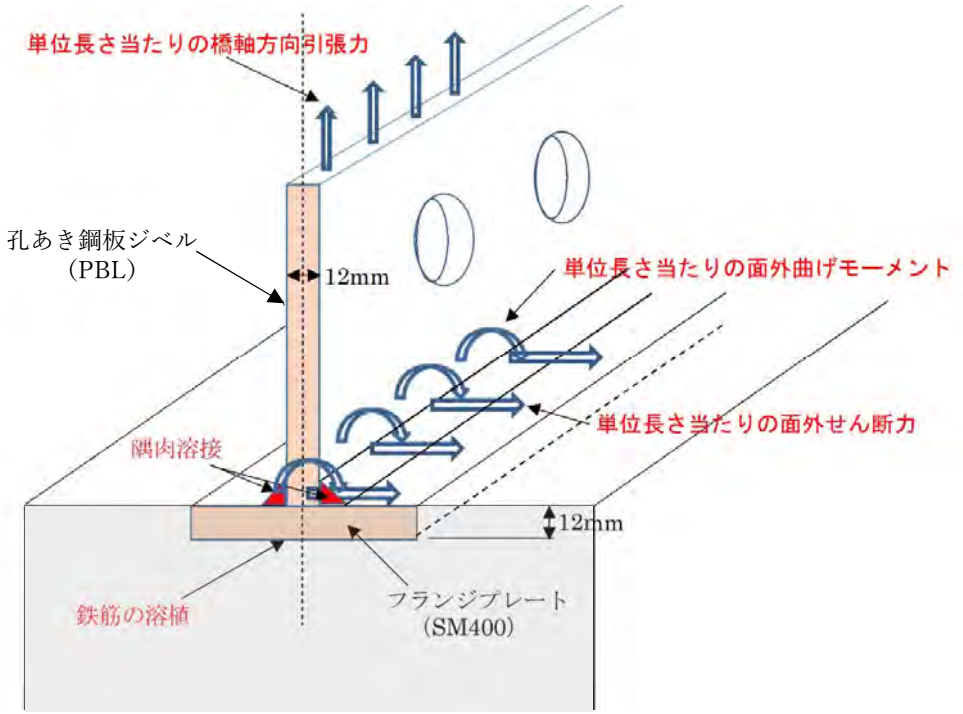


図-3.6.26　溶接設計のための溶接の種類及び方向と作用断面力の関係

ここで、隅肉溶接にしたのは、壁高欄厚が 250mm と比較的厚く、また、衝突荷重による面外変形によって生じる PBL 継手部の作用断面力が比較的小さく、面外変形の影響も小さいことから隅肉溶接を選択している。

この隅肉溶接の照査では、図-3.6.26 に示すように、溶接部の PBL 鋼板に作用する橋軸方向引張力、面外曲げモーメント及び面外せん断力を考慮して照査している。なお、照査で考慮する各断面力については、安全側を考慮して、図-3.4.5 に示した PBL 鋼板天端の最大断面力が鉛直方向に均一に作用するとしている。

（b）隅肉溶接の照査

隅肉溶接の照査は、「鋼道路橋設計便覧」に準拠した。

照査のための隅肉溶接の脚長、サイズ及びのど厚の関係は図-3.6.27 に示す通りである。

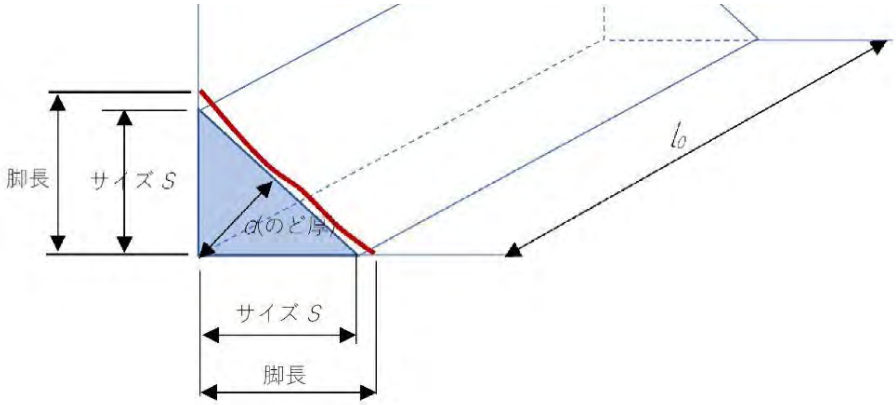


図-3.6.27　隅肉溶接の脚長、サイズ及びのど厚の関係

ここに、サイズ S ：道路橋示方書では、$\sqrt{(2\times tmax)} \leqq S \leqq tmin$ かつ $S \geqq 6$mm とある。従って、Sを計算すると、S ＝4.9mm となり、4.9mm ≦ S ≦ 12mm かつ S ≧ 6mm となる。

理論のど厚 ：S=6mm とする。

有効長（のど厚）：$a=\sqrt{2}\cdot S/2$＝4.243mm⇒4.3mm とする。

のど面積 ：$l = l_0$=600mm（フロリダ型 SB タイプの場合の溶接長さ）

のど厚×有効長＝4.3mm×600mm×2＝5,160mm^2

（c）溶接部のせん断応力度（曲げモーメント＋軸力）の照査

溶接部に曲げモーメントと軸力（引張力）が作用する場合の安全性の照査は、式-3.6.11 で行なっている。

$$\tau_{b+n} = \frac{M}{I}\cdot z + \frac{N}{\Sigma a\cdot l} \leqq \tau_a \quad \cdots\cdots\cdots \quad \text{式-3.6.11}$$

ここに、τ_{b+n}：曲げモーメントと軸力が作用する溶接部のせん断応力度

M ：作用曲げモーメント

N ：軸力

I ：溶融金属の断面のなす断面 2 次モーメント

z ：中立軸から着目する溶接部までの距離

τ_a ：溶接部の許容せん断応力度

a ：のど厚

l ：のど厚長さ

（d）面外方向のせん断力に対する照査

溶接部に面外方向にせん断力が作用する場合の安全性の照査は、式-3.6.12 で行なっている。

$$\tau_s = \frac{S}{\Sigma a \cdot l} \leqq \tau_a \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots \quad \text{式-3.6.12}$$

ここに、τ_s ： 面外せん断力が作用する溶接部のせん断応力度
S ： 面外せん断力
τ_a ： 溶接部の許容せん断応力度
a ： のど厚
l ： のど厚長さ

（e）合成応力度の照査

PBL 鋼板付け根の溶接部には、前述の通り、面外曲げモーメント及び橋軸方向引張力による引張応力度とせん断応力度が同時に作用するため、合成応力度の照査を行っている。

道路橋示方書では、隅肉溶接の場合の照査式は、**式-3.6.13** の通り与えられる。

$$\left(\frac{\tau_{b+n}}{\tau_a}\right)^2 + \left(\frac{\tau_s}{\tau_a}\right)^2 \leqq 1.0 \qquad \cdots\cdots \quad \text{式-3.6.13}$$

以上の各応力度の照査の結果、決定した隅肉溶接の寸法で、安全が確認されている。

以上、使用性に関する照査として、DAK 式壁高欄の「**(1) 壁高欄の縦方向の照査**」及び「**(2) PCa 壁高欄同士の橋軸方向接合部の照査**」として、それぞれの照査方法と照査結果を述べた。

これらの照査結果に基づき、DAK 式壁高欄の構造詳細を決めている。

3.7 構造細目 [2)、4)]

3.7.1 標準的な配筋要領

DAK 式壁高欄の配筋については、「**3.6.4 使用性に関する照査**」の**表-3.6.5** 及び**図-3.6.10** に示した通り、NEXCO の「**設計要領第二集 橋梁建設編 5-3 鉄筋コンクリート製防護柵 表 6-5-2、図 6-5-3 及び図 6-5-4** 」に記載されている本数と段数を配置すればよいとしている。但し、DAK 式壁高欄の場合には、床版と PCa 壁高欄の接合部においては、上記の鉄筋（PCa 壁高欄側に配置された鉄筋と床版側に配置された鉄筋）をそれぞれ交互に配置したループ鉄筋継手としている。

なお、DAK 式壁高欄の各設計断面での部材照査に関しては、別途、各種解析により、詳細に検討した「**NEXCO 剛性壁高欄(コンクリート製壁高欄)の衝突荷重による鉄筋応力度の検証「報告書」**」[2)]として取り纏めており、NEXCO 総合技術研究所 橋梁研究室に提出済みである。

これを踏まえ、鉄筋配置の標準化を行なっており、その基本となる標準鉄筋配置の参考図を**図-3.7.1** に、また、DAK 式壁高欄の標準鉄筋配置を**図-3.7.2** 及び**表-3.7.1** に示す。

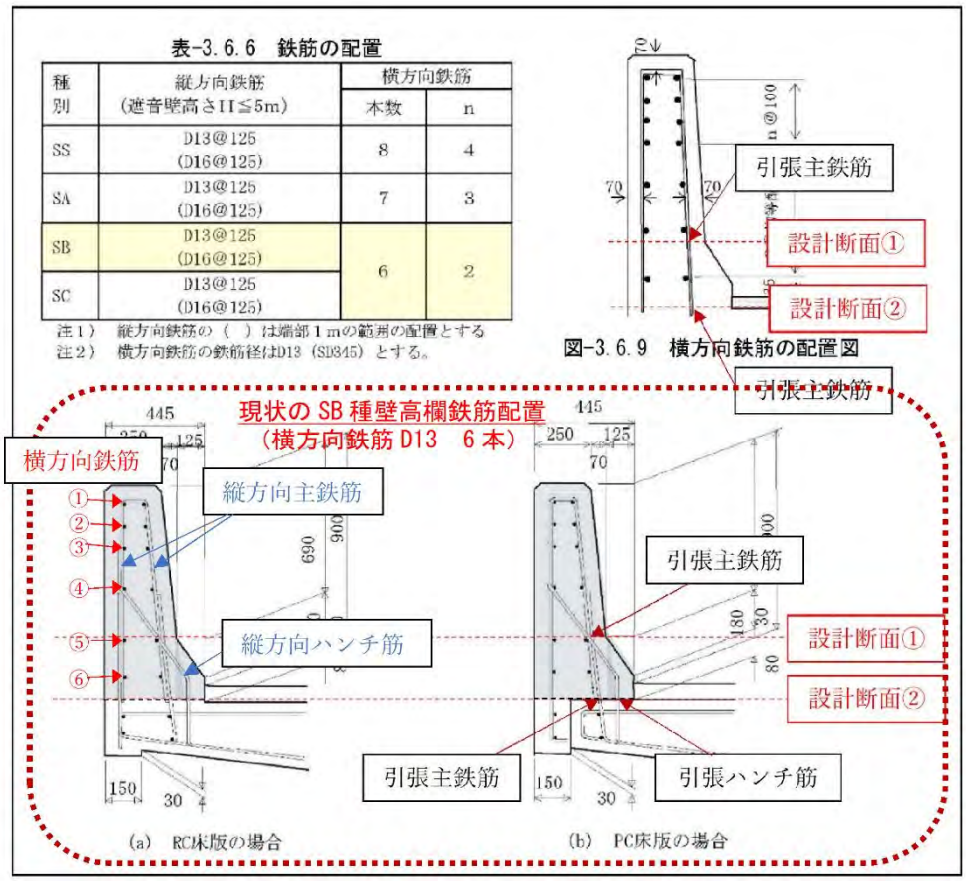


図-3.7.1 NEXCO フロリダタイプ壁高欄の鉄筋配置参考図

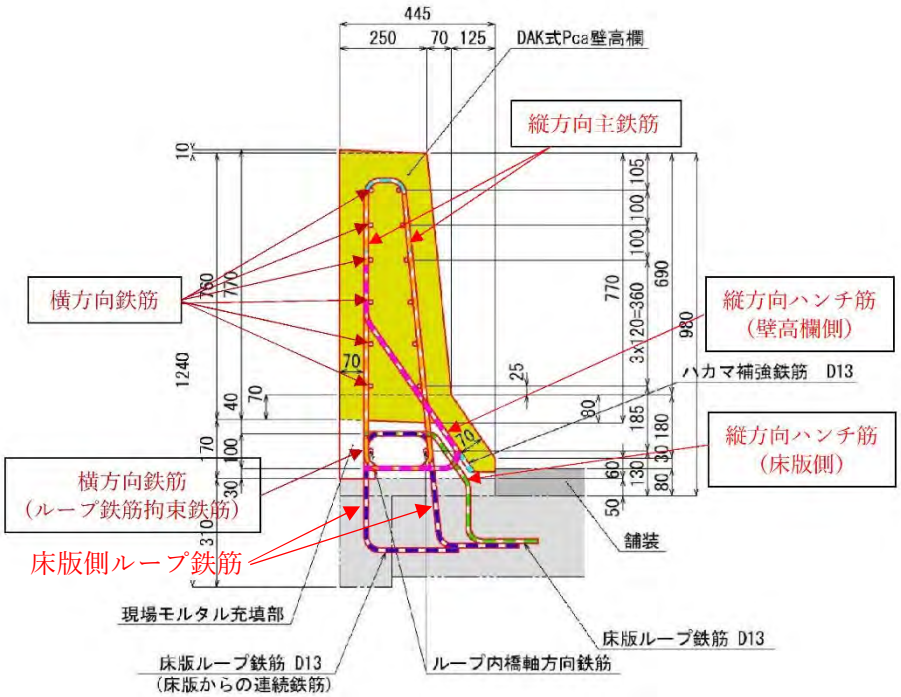


図-3.7.2 DAK 式壁高欄の標準鉄筋配置図

表-3.7.1　DAK 式壁高欄の標準鉄筋配置

種別	縦方向主鉄筋（遮音壁高さ H≦5m）		縦方向ハンチ筋		横方向鉄筋（鉛直方向配置に対して）	
	標準部	端　部（1m 範囲）	標準部	端　部（1m 範囲）	壁高欄部	ループ鉄筋内
SB	D13@125	D16@125	D13@250	D16@250	D13　6 本	D13　1 本

鉄筋の規格：SD345

特に、DAK 式壁高欄では、床版側に配置される背面側のループ鉄筋（**図-3.7.2 参照**）は、床版と水切り部との構造一体性を考慮した配置を基本としている。

3.7.2　PCa 壁高欄部材の形状 [2)]

(1) PCa 壁高欄基部の形状

DAK 式壁高欄における PCa 壁高欄部の基部の形状は、ループ鉄筋継手の接合部の型枠設置や接合モルタルの施工方法によって選択される場合が多い。

DAK 式壁高欄の基部の形状に関し、現時点で標準化しているのが**図-3.7.3** に示す前面袴構造を有する形状である。これは、主に、現場施工における工期短縮と耐久性の向上を目指したもので、前面袴を設けることにより、現場施工となる接合モルタルの充填面積を削減したものである。なお、前面袴部には、補強鉄筋として、**図-3.7.3** に示すように、D13 鉄筋を前面ハンチ筋に 250mm ピッチで沿わせている。一方、**図-3.7.4** は、従来構造の形状で、壁高欄背面の施工スペースに制限があり、接合モルタルの充填確認を壁高欄背面から出来ないような場合等にこの構造が採用される場合がある。

従って、DAK 式壁高欄では、施工環境等により、接合モルタルの充填方法を考慮して、PCa 壁高欄の基部の形状を選択できるようにしている。

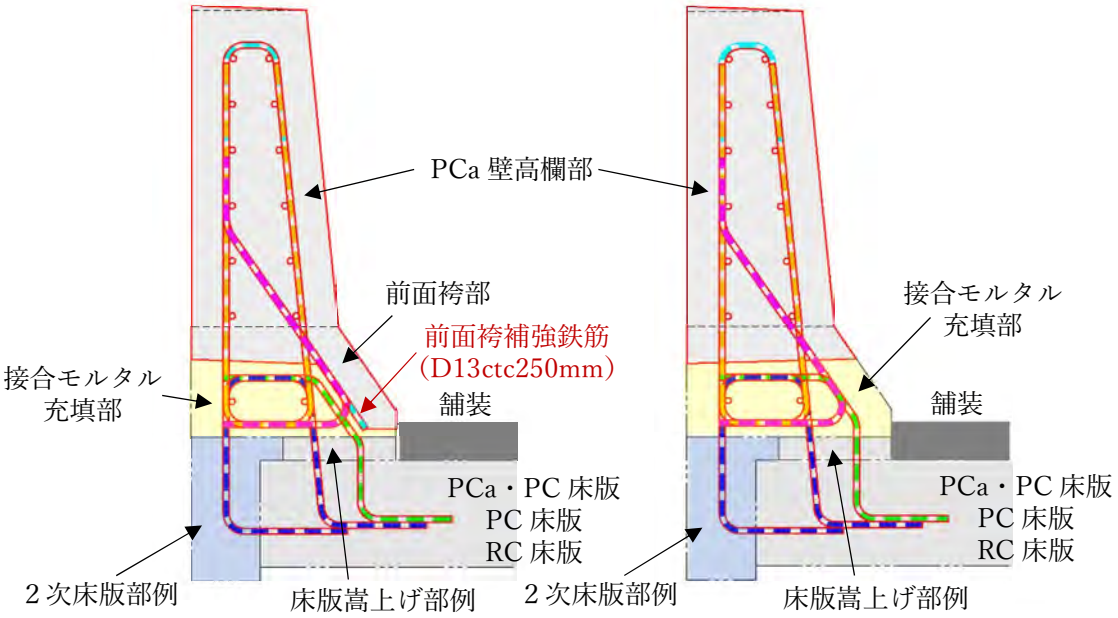


図-3.7.3　標準形状（前面袴有り）　　**図-3.7.4　従来形状（前面袴無し）**

また、**図-3.7.3** から分かるように、壁高欄前面に袴を設けているため、接合モルタル充填時のエアが壁高欄前方（袴の後ろ）に溜らないよう、PCa 壁高欄下面の勾配を壁高欄背面側に高くしている。一方、**図-3.7.4** の従来形状では、接合モルタル充填時のエア抜きは、基本、壁高欄前面から行うのが一般的であるため、PCa 壁高欄下面の勾配を壁高欄前面側に高くしている。

壁高欄前面に袴を設けた構造については、「**第 7 章　DAK 式壁高欄の標準化**」で詳述している。

(2) 溝側壁高欄の溝の形状

溝側壁高欄の PBL 鋼板を差し込む溝の形状については、**図-3.7.5** に示すように、溝内に配置されている縞鋼板の背面側の形状を丸く加工している。DAK 式壁高欄では、この形状を標準化としている。

この形状の特長は、接合モルタルの充填を、床版と PCa 壁高欄の接合部に配置した型枠に孔をあけて充填すること無く、壁高欄上面から充填ホースを挿入して施工できるように、PBL 鋼板の背面の縞鋼板を丸く加工したものである。

但し、接合モルタルをこの方法以外で充填する場合は、縞鋼板の形状は、この限りでは無く、例えば、図の赤の破線で示したような縞鋼板の形状（台形状）に変更しても良いとしている。

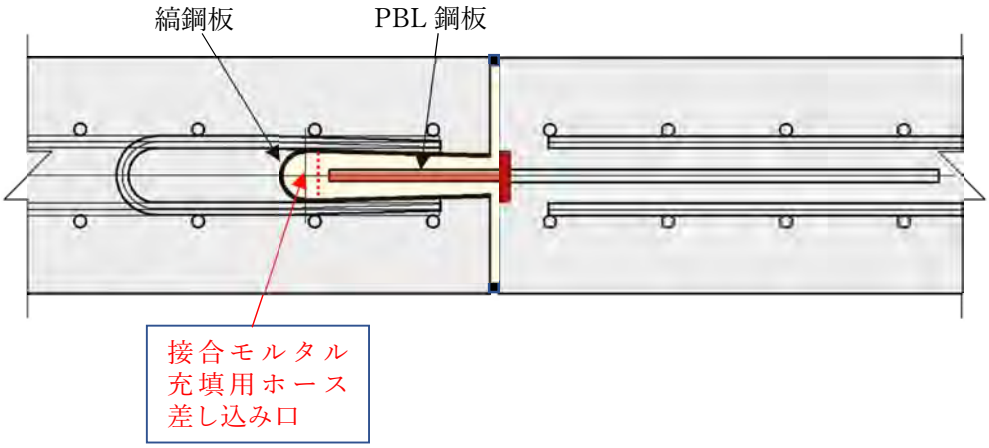


図-3.7.5　溝側壁高欄の溝の形状（縞鋼板の形状）

3.7.3　コンクリート床版と PCa 壁高欄の接合高さ [2)]

DAK 式壁高欄の場合の床版接合部の床版側に配置されるループ鉄筋と PCa 壁高欄側に配置されるループ鉄筋のそれぞれの鉛直方向の継手高さの最小高さは、**図-3.7.6** に示すように、上下の鉄筋の中心間高さとして、h_m＝100mm 以上を基本としている。これは、現場施工となる接合モルタルの充填時間の短縮を図るため、接合部断面積を極力小さく抑えるためである。

この継手高さは、現場での高さ調整等によっても変動する事が考えられるが、橋軸方向に平均的に h_m＝100mm 以上を確保していれば良いとしている。

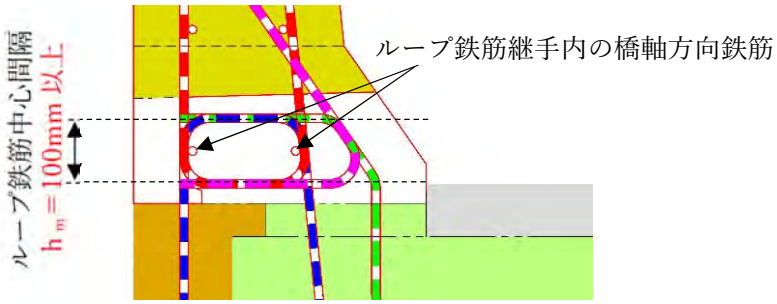


図-3.7.6　DAK 式壁高欄の場合のループ鉄筋継手長

なお、この鉛直方向のループ鉄筋の継手高さは、ループ鉄筋の継手長に要求される規定を満足していないが、DAK 式壁高欄では、「試験法 441」に準じた衝突試験を行ない、接合部の安全性を確認しているため、このループ鉄筋継手長でよいとしている。

また、ループ鉄筋継手内に配置する橋軸方向鉄筋は、図-3.7.6 に示すように、主鉄筋が構成するループ鉄筋内の両側にそれぞれ 1 本の計 2 本配置することを基本としており、こちらの配置についても、衝突試験によって接合部の安全性を確認している。

3.7.4　孔あき鋼板ジベルの構造・寸法 [2)]

孔あき鋼板ジベルの形状に関する最小寸法は、構造細目によって決定している。

DAK 式壁高欄の場合、孔あき鋼板ジベルは、PBL 鋼板の孔に充填されるモルタルの 2 面せん断耐力によって照査しているため、孔あき鋼板ジベルの安全性は、PBL 鋼板に作用する橋軸方向引張力に依存する。従って、孔あき鋼板ジベルを含む PBL 鋼板の各寸法に対する構造細目は、孔あき鋼板ジベルの照査方法に準じて図-3.7.7 に示す寸法を決定する必要があり、最終的に、表-3.7.2 に示す最小必要寸法としている。

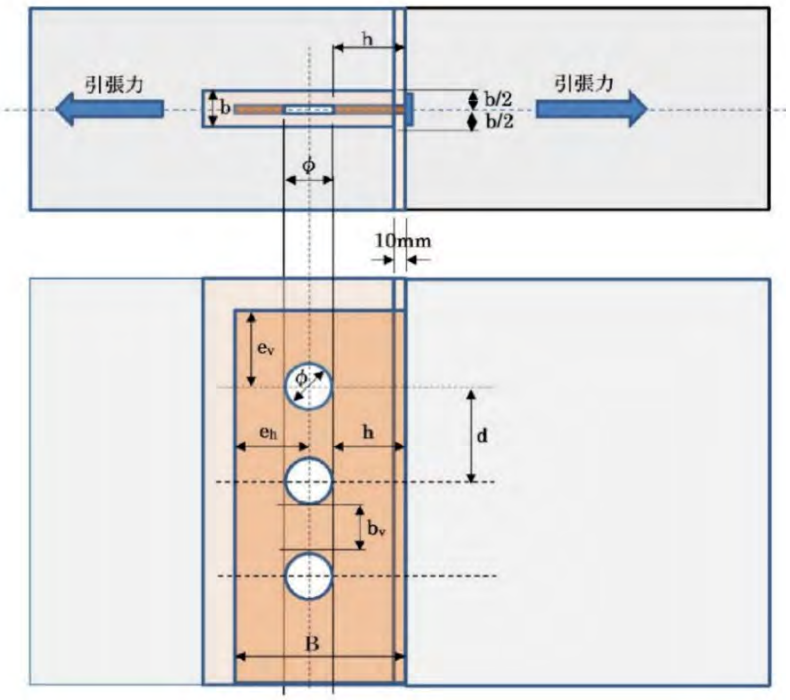


図-3.7.7　孔あき鋼板の各寸法

表-3.7.2　孔あき鋼板ジベル及び PBL 鋼板の各最小必要寸法

t	12mm～16mm（土木学会）	12mm 以上
e_v	ϕ 以上	45mm 以上
e_h	ϕ 以上	45mm 以上
b_v	ϕ 以上あるいは b 以下の範囲内	45mm
d	2ϕ 以上あるいは$(b_v+\phi)$以上の大きい方	90mm 以上
h	$(10\text{mm} + b/2 + \phi/2)$以上	55mm 以上
B	$(h+\phi/2+e_h)$以上あるいは（$100\text{mm}-\phi/2$）以上 の大きい方	122.5mm 以上

3.7.5　PBL 鋼板付け根の溶接の寸法 [2)]

DAK 式壁高欄の橋軸方向接合部の PBL 鋼板は、**図-3.6.26** に示した通り、PBL 側壁高欄との一体化のため、PBL 側壁高欄に埋込み配置されたフランジプレートに隅肉溶接にて溶接されている。

NEXCO の SB 種における DAK 式壁高欄の PBL 鋼板とフランジプレートとの隅肉溶接の寸法は、「**3.6.4　使用性に関する照査　(2) プレキャスト壁高欄同士の橋軸方向接合部の照査　8)　PBL 鋼板と PBL 側壁高欄に配置されたフランジプレートとの溶接の安全性の照査**」での照査結果を反映して、**図-3.7.8** に示すように、道路橋示方書に準じ、サイズ S の最小寸法は、6mm で良いとした。

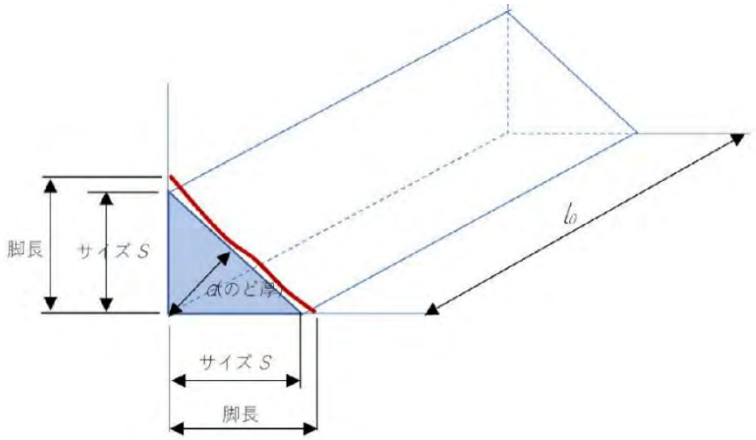
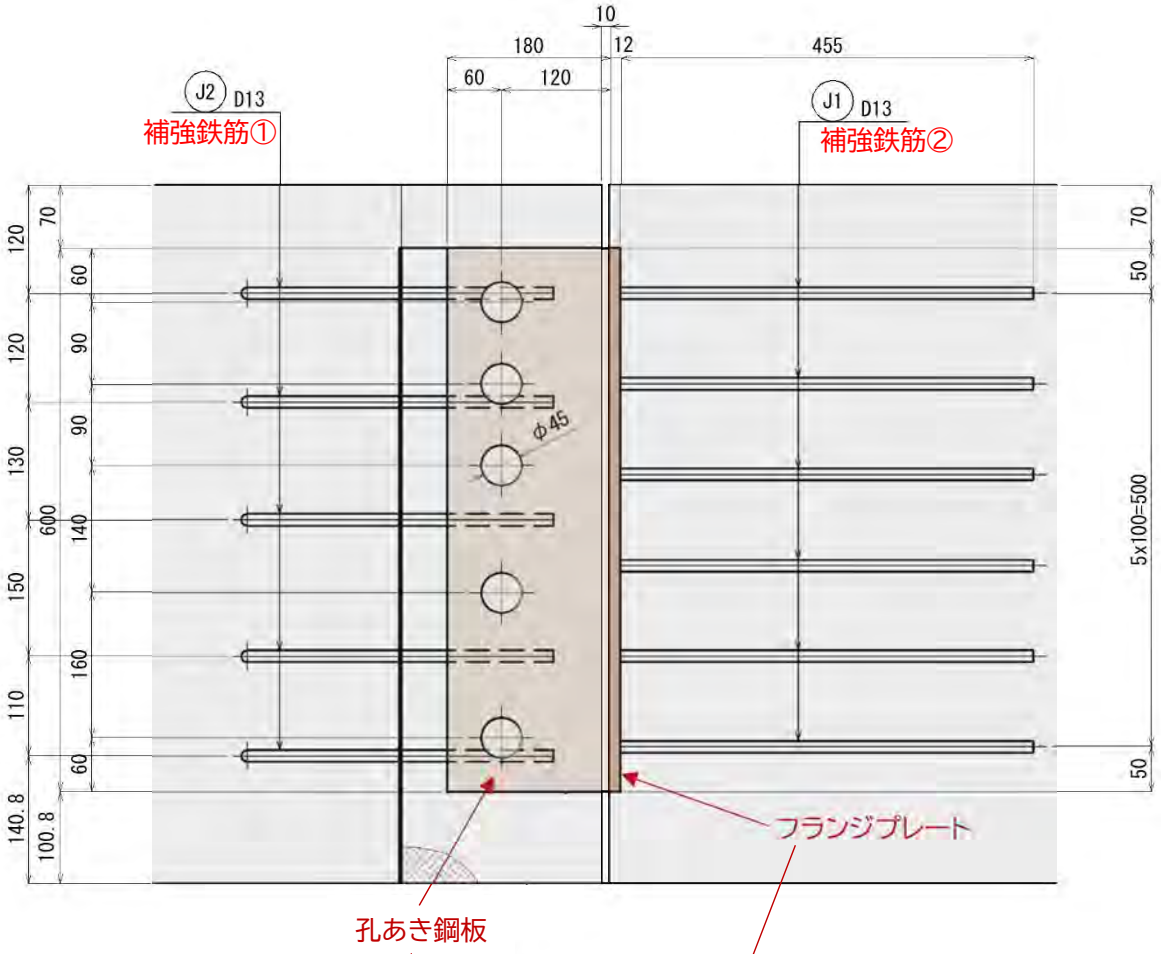


図-3.7.8　PBL 鋼板とフランジプレートとの隅肉溶接の寸法

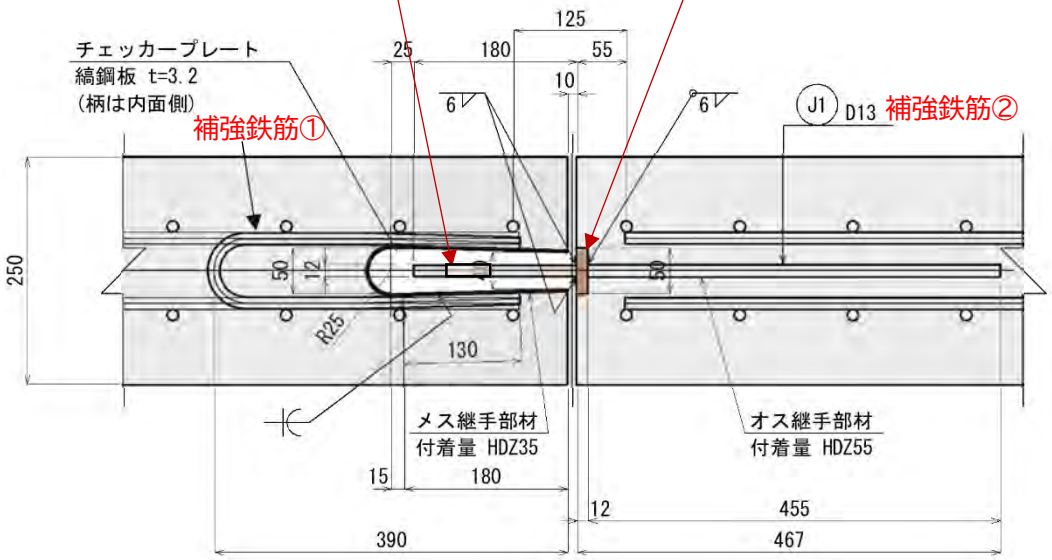
3.7.6　孔あき鋼板ジベル及び補強鉄筋の標準配置と標準寸法 [2)]

NEXCO の SB 種の壁高欄（コンクリートかぶり 70mm）に準じた場合、DAK 式壁高欄では、孔あき鋼板ジベル、補強鉄筋①及び補強鉄筋②に対しては、応力照査で得られた結果を反映し、また、構造細目を考慮して、**図-3.7.9** に示すように、標準配置と標準寸法を決めている。

なお、溝側壁高欄内の補強鉄筋①については、壁高欄内の鉄筋配置等を勘案して、配置範囲を小さく抑えるため、1 本の鉄筋を曲げて縞鋼板に部分溶接して配置している。しかしながら、配置範囲や配置に制約が無いと判断される場合には、縞鋼板の両側に定着長を満足する直筋を配置して良いとしている。



(a) 側面図



(b) 平面図

図-3.7.9 NEXCO・SB 種の DAK 式壁高欄の孔あき鋼板及び補強鉄筋の標準形状と配置

3.7.7　PCa 壁高欄同士の接合 [2)]

DAK 式壁高欄では、**図-3.7.9** に示したように、橋軸方向の PCa 壁高欄同士の接合については、基本、平面線形への対応を考慮して、壁高欄の天端中心位置において、橋軸方向の壁高欄同士の間隔（接合目地幅）を設計上 10mm としている。

なお、縦断線形、平面線形等の線形上、あるいは、施工上において、10mm で接合できない場合は、その間隔を別途検討してよいとしている。

3.7.8　PCa 壁高欄の縦断線形に対する配置 [2)]

DAK 式壁高欄では、PCa 壁高欄の製作を、基本、高さ方向に矩形に製作するため、縦断線形に対する配置は、**図-3.7.10** に示すように、PCa 壁高欄の下端面は、基本、床版面に平行とし、その上で、矩形の PCa 壁高欄ブロックを配置することとしている。

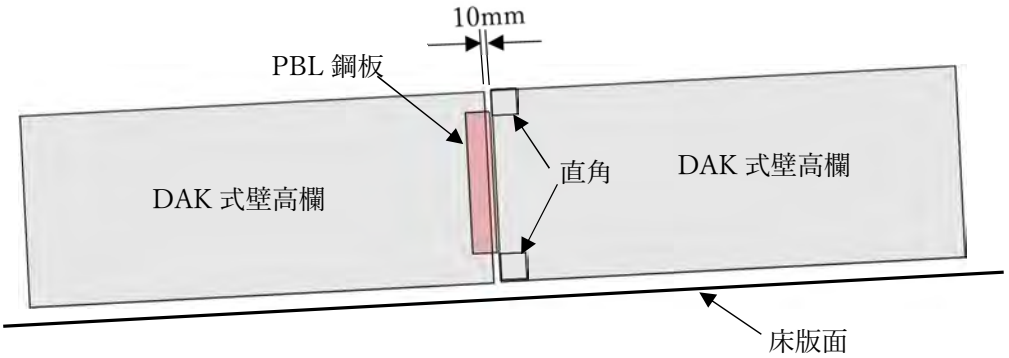


図-3.7.10　PCa 壁高欄の縦断線形に対する配置

ここで、壁高欄同士の接合面を常に垂直になるように配置する場合には、型枠形状を平行四辺形にする必要があるとともに、縦断線形が一定勾配でない場合、更に型枠の変更が生じ、プレキャスト化のメリットが損なわれるばかりか、製作費も高くなることから、DAK 式壁高欄では、PCa 壁高欄ブロックを矩形に製作することを基本としている。

3.7.9　PCa 壁高欄と場所打ち壁高欄の接合

橋梁端部の伸縮装置のある部分や PCa 壁高欄の割付け時の長さ調整部分等、PCa 壁高欄と場所打ち壁高欄を接合する場合には、基本的には、以下の二つの方法が考えられる。

① PCa 壁高欄の端面側から孔あき鋼板を突出させ、そこに場所打ち壁高欄を接合する方法。

② PCa 壁高欄の端面側から、PCa 壁高欄の橋軸方向鉄筋を突出させ、場所打ち壁高欄の橋軸方向鉄筋と重ね継手により接合する方法。

DAK 式壁高欄では、「**第 2 章　DAK 式壁高欄の特長**」の**図-2.1.1** で示した PBL 側端部を有する PCa 壁高欄を、そのまま場所打ち壁高欄部と接合することが出来るため、実績では、前記①の方法が用いられている。

その接合例を**図-3.7.11** に示すが、この例は、PBL 鋼板の孔に補強用の U 字筋を配置した例である。

PBL 鋼板の安全性の照査並びに PBL 鋼板周りの補強鉄筋の応力照査は、基本、橋軸方向引張力及び面外方向曲げに対する照査であり、その結果配置された補強鉄筋の方向を勘案して、橋軸方向に配置したものである。

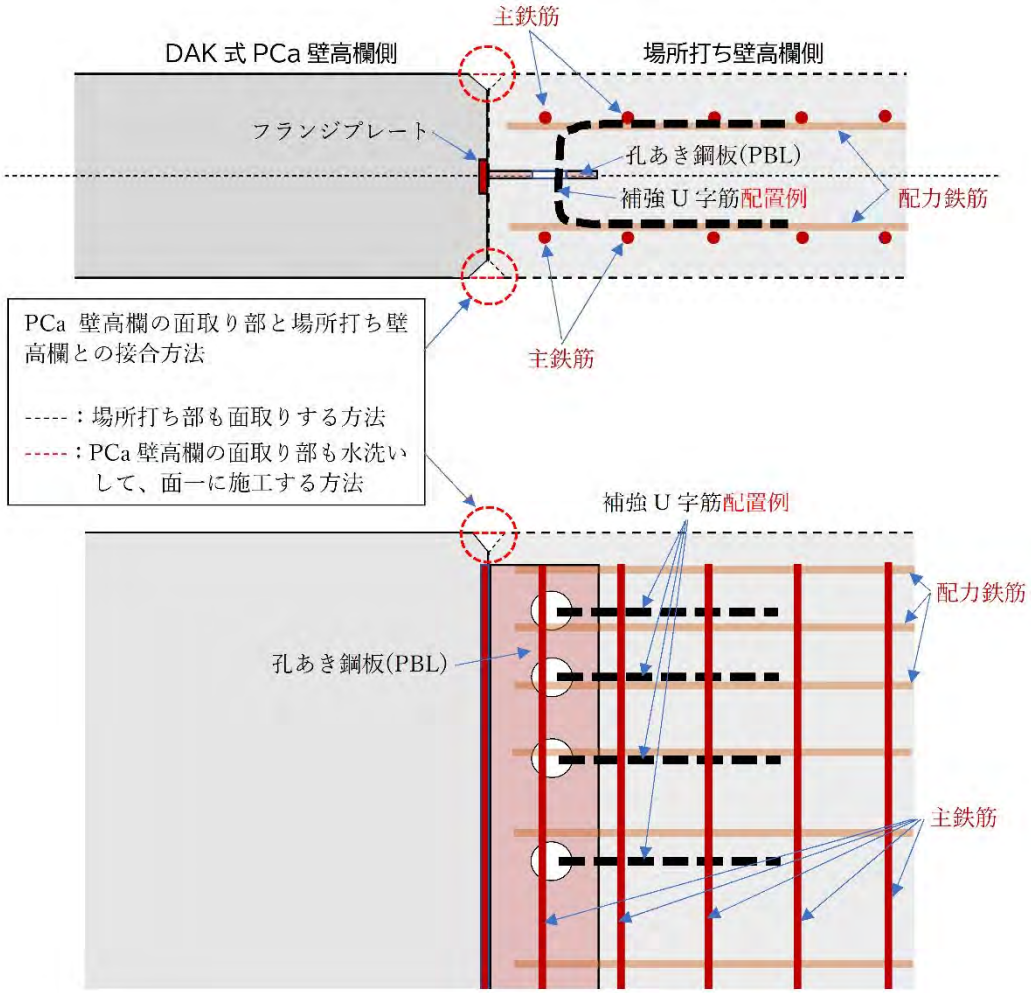


図-3.7.11　DAK 式壁高欄と場所打ち壁高欄の接合例

孔あき鋼板ジベルでの接合では、ジベル孔にコンクリートが充填されるため、補強 U 字筋を配置しなくても PCa 壁高欄同士の PBL 接合と同様な接合性能を有すると考えられるが、DAK 式壁高欄では、フェールセーフとして、孔あき鋼板の孔に補強鉄筋を配置する方法を推奨している。

また、**図-3.7.11** に示したように、PCa 壁高欄の PBL 側端面は、基本的に面取りされるのが一般的であるため、場所打ち壁高欄との接合に関しては、場所打ち壁高欄側も面取りする、あるいは、フラット面にする等、適切な接合方法を選択すれば良いとしている。

3.7.10　通信管路の配置 [2)]

DAK 式壁高欄の場合、PCa 壁高欄内に通信管路を配置することが可能である。

「**第 2 章　DAK 式壁高欄の特長**」でも示したように、溝側壁高欄部には縞鋼板が配置されるため、通信管路の配置は、**図-3.7.12** に示すように、基本、縞鋼板と道路側前面主鉄筋の間のスペースとなる。なお、この場合の PBL 鋼板の配置位置は、壁高欄天端中心位置である。

図-3.7.13 に、DAK 式壁高欄のかぶり 70mm の標準断面に対する通信管路（バネ式通信管路）の配置例を示す。この場合の通信管路は、VE54 管 2 条、VE42 管 1 条配置した例である。

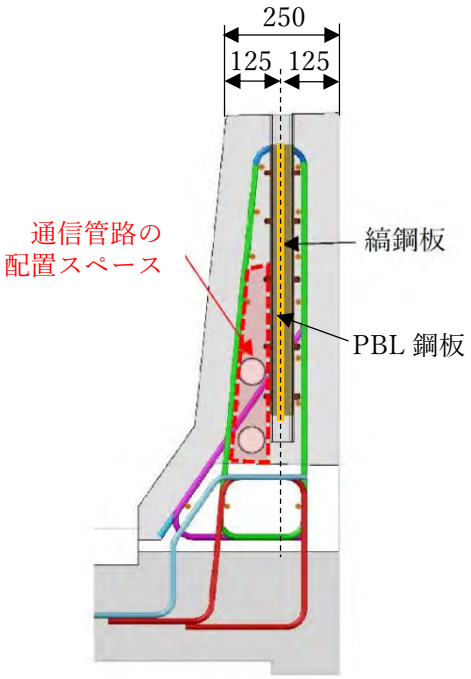


図-3.7.12　通信管路の配置スペース

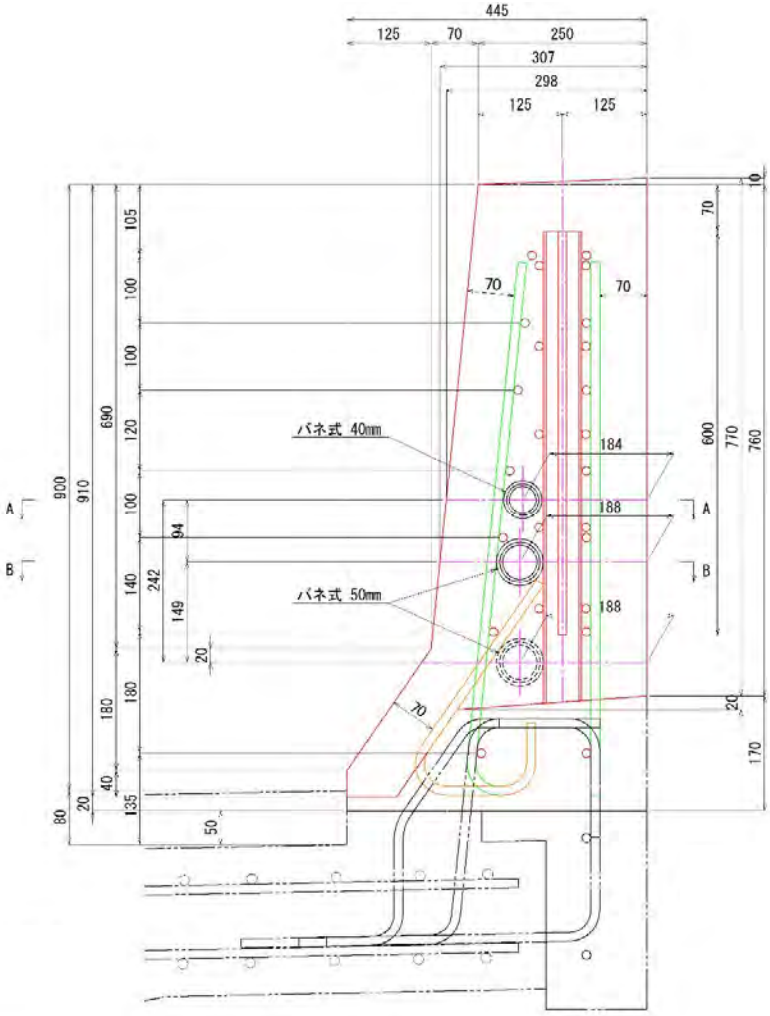


図-3.7.13　通信管路の配置例

DAK 式壁高欄では、**図-3.7.14** 及び**写真-3.7.1** に示すように、現場での通信管路の接合を簡単に、かつ確実に労力をかけず行える（株）栗本鐵工所製のバネ式通信管路を標準として配置している。しかしながら、この方法は、DAK 式壁高欄としての指定工法ではないため、更に優位な接合構造があれば、別途検討してよいとしている。

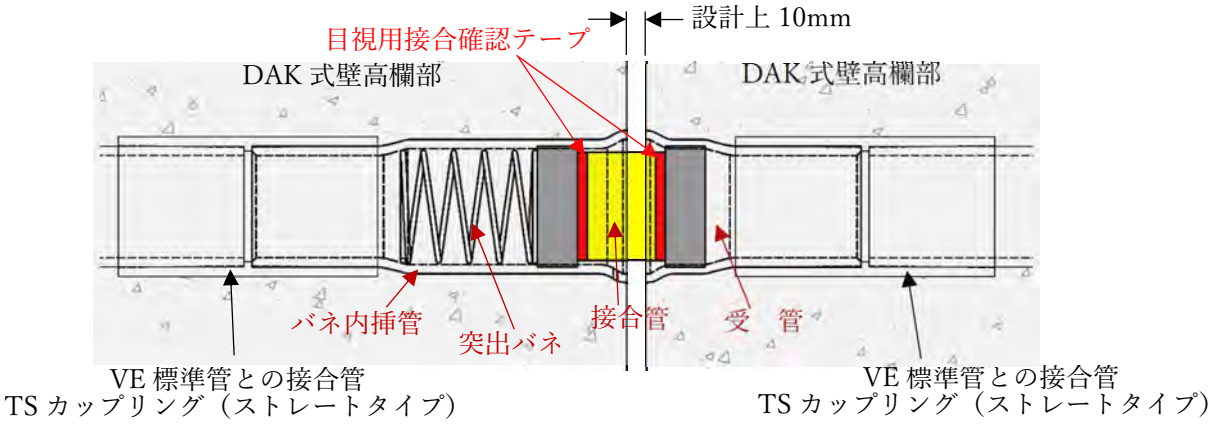


図-3.7.14　バネ式通信管路の配置例（VE54 管の配置例）

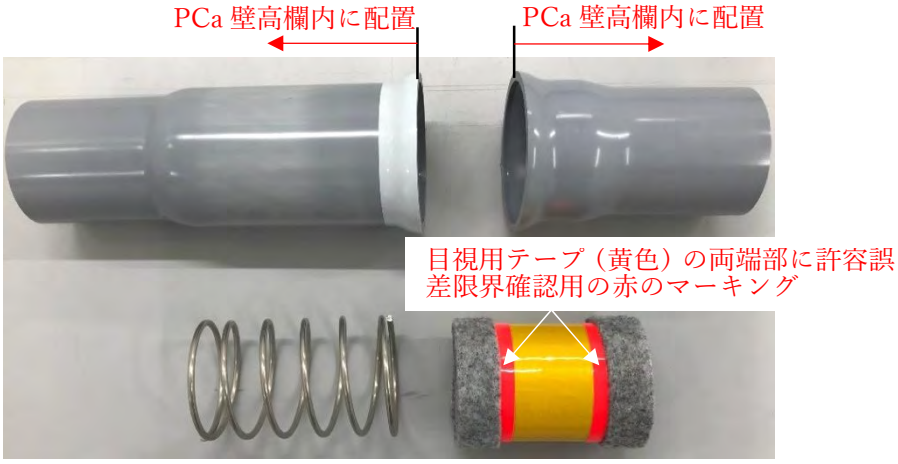


写真-3.7.1　バネ式通信管路の各部材の写真

また、通信管路の条数が増えた場合、**図-3.7.12** 及び**図-3.7.13** に示した通り、コンクリートかぶり 70mm では、通信管路の配置スペース上、配置が厳しくなる。

配置条数の増加に伴って配置スペースを確保するための対応として、かぶりを小さくする事が考えられる。それに伴って、PBL の配置を背面側に移動可能となる。

先ず、かぶりを小さくした場合の遮塩性に対する耐久性能については、耐久設計も含め「**3.6.2　耐久性に関する照査**」の中で、かぶり 50mm までエポキシ樹脂塗装鉄筋の使用の場合も含めた耐久性能を照査しており、必要に応じてかぶり 50mm までの検討が可能となっている [6)、7)、8)]。

また、PBL の配置の移動に伴う DAK 式壁高欄の力学特性に関する安全性についても、かぶり 50mm まで確認済みである [2)]。

3.8　PCa 壁高欄の割付け

3.8.1　DAK 式壁高欄のブロック長

DAK 式壁高欄の場合、プレキャストブロック 1 体当たりの橋軸方向の標準長さは、基本的に、遮音壁アンカーの設置間隔（基本 2.0m）、運搬重量及び運搬する個数、あるいは、更新工事に用いられる PCa・PC 床版の幅等を考慮して、4.0m を基本としている。

但し、橋梁の平面線形への対応、更新用の床版取替用の PCa・PC 床版の橋軸方向長さ（基本 2.0m）、あるいは架設上の制約等を考慮して、必要に応じ、橋梁毎に 2.0m のブロック長さやその他の長さを検討する事としている。

3.8.2　橋梁支点上及び端部の割付け方法

連続桁形式の橋梁では、中間支点上の負曲げの影響を考慮して、壁高欄自体、連続構造では無く、完全に分離した不連続な構造となることが多い。このため、DAK 式壁高欄では、プレキャストブロックの端部面は、継手構造の無いフラットなブロックとして対応している。参考として、端部面のフラットなブロックの製作例を**写真-3.8.1** に示す。

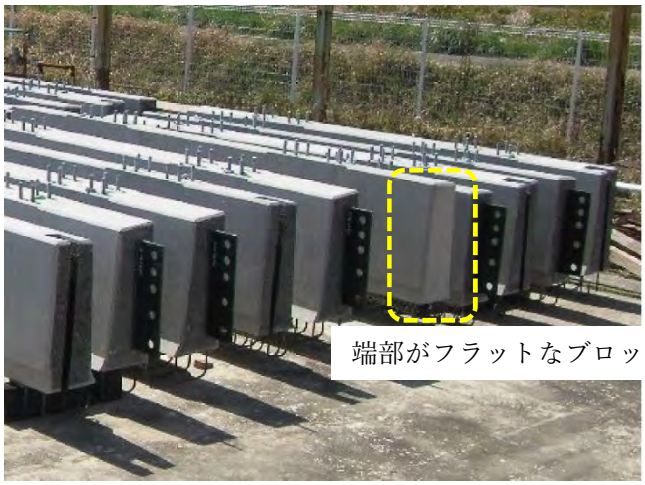


写真-3.8.1　DAK 式壁高欄の端部がフラットなブロック例

なお、完全に分離した不連続な構造で通信管路が連続配置される場合は、通信管路部が、壁高欄部材の外に配置されるため、耐久性を確保できるような適切な保護や通信管路の接合部の材質を変更する等、耐久性への対策が必要である。

また、この時のブロックの割付けについては、支間長を考慮して、支点上の端部面がフラットなブロックを基準として割付けても良いし、支間長内での壁高欄の構造を考慮して、また、「**3.8.1　DAK 式壁高欄のブロック長**」で記した内容も考慮して適切に割付けを検討する必要がある。

更に、桁端部には伸縮装置が設置されるため、この部分の床版との接合部も含めて、端尺のブロックを設置する方法、場所打ち壁高欄と接合する方法等、適切な接合方法を検討する必要がある。

基本的に、割り付けは各橋梁で異なるので、製作上、端尺なブロックが少なくなるような合理的な事前計画が必要である。

3.8.3　場所打ち部を有する割付け方法

ブロックの割り付け上、長さ調整部分等、プレキャストブロックで対応できない場合には、必要に応じて場所打ちコンクリートで対応する必要がある。

この場合の PCa 壁高欄と場所打ち壁高欄の接合については、前述の「**3.7.9　PCa 壁高欄と場所打ち壁高欄の接合**」を参考にして、鉄筋配置や鉄筋の継手長を満足する場所打ち壁高欄の長さを検討する必要がある。

また、**図-3.8.1** に示すように、壁高欄に通信管路が配置される場合、橋長等によっては通信線の挿入を考慮して、ハンドホールが設置される。

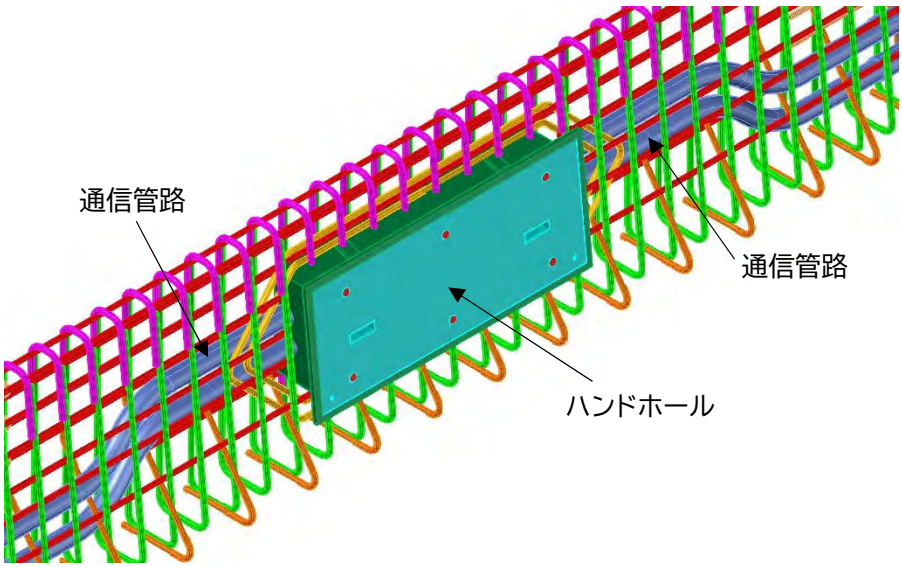


図-3.8.1　ハンドホールの設置概念図

特に、ハンドホールに接合される通信管路は、所定の位置に接合する必要があるため、通信管路そのものを壁高欄内で曲げ上げ配置する場合もある。そのため、ハンドホールが PCa 壁高欄内に配置される場合あるいは場所打ち壁高欄内に配置される場合があるため、通信管路の接合を考慮したハンドホール及び通信管路の全体配置を検討する必要がある。

第 4 章　PCa 壁高欄の製作 [2)]

4.1　製作フロー

DAK 式壁高欄は、基本、JIS 工場で製作されるが、その製作フローは、概ね、**図-4.1.1** の通りである。

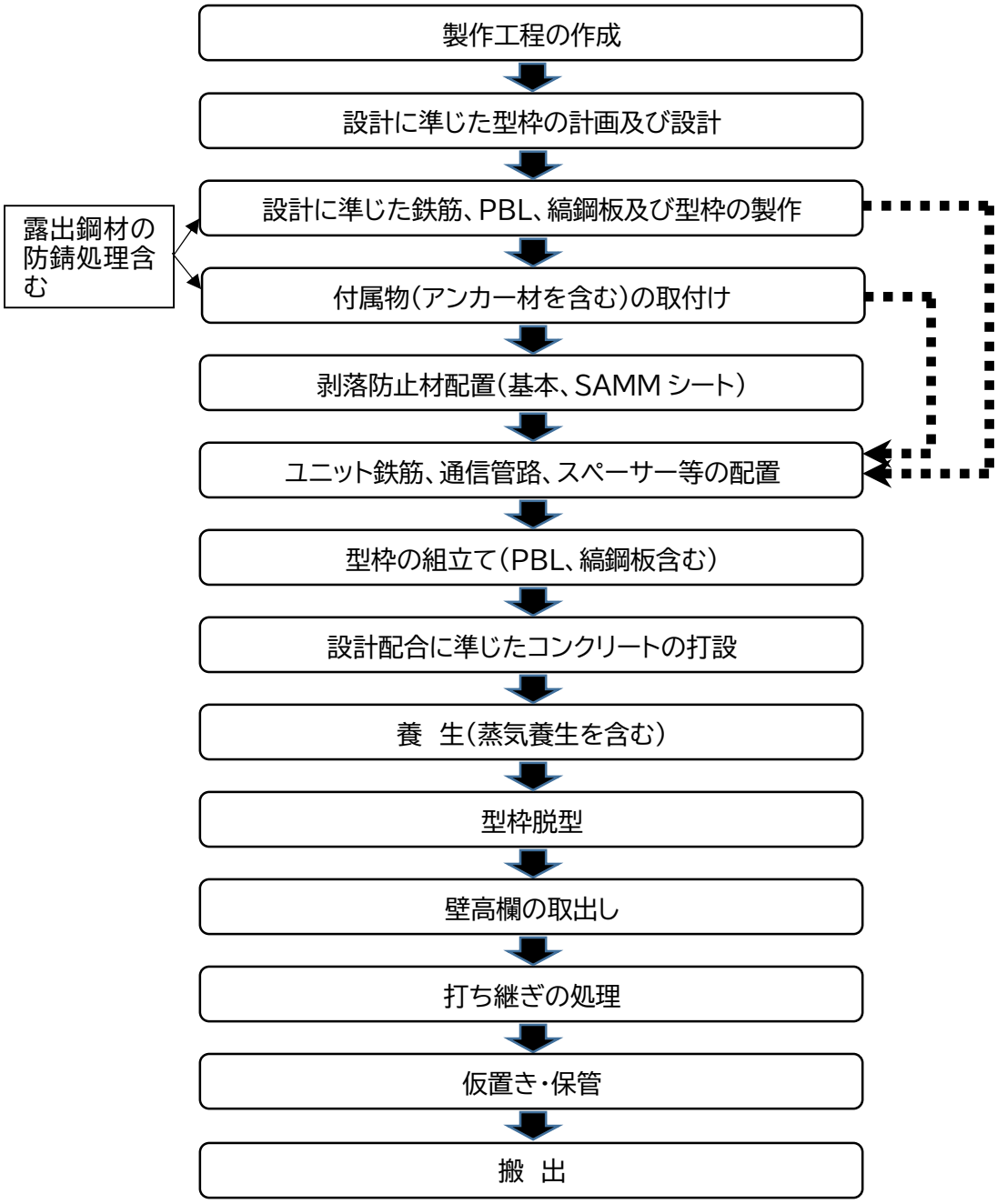


図-4.1.1 DAK 式壁高欄の基本的な製作フロー

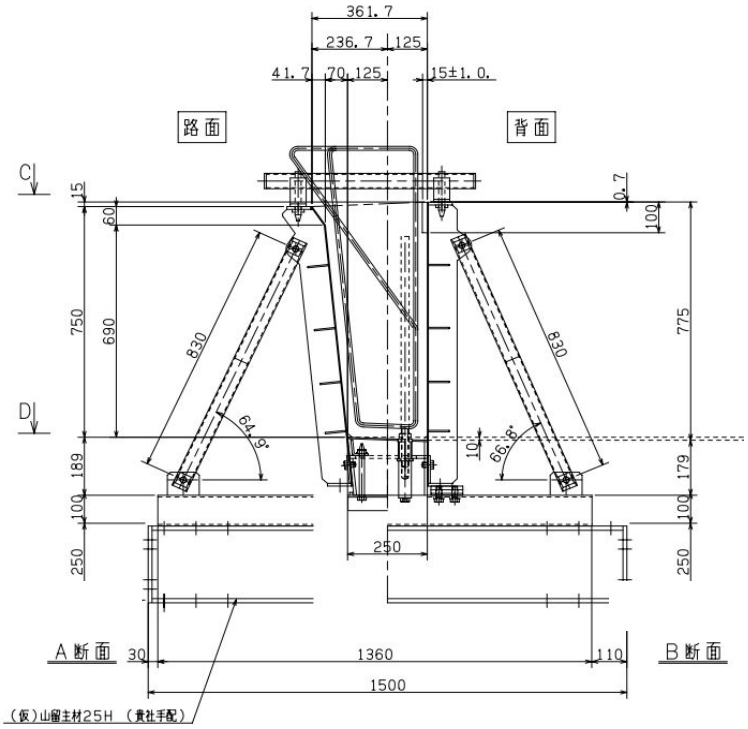
以下、**図-4.1.1** のフローに沿い、各項目を図、表、写真を用い、詳しく内容を説明する。

4.2　型枠の製作

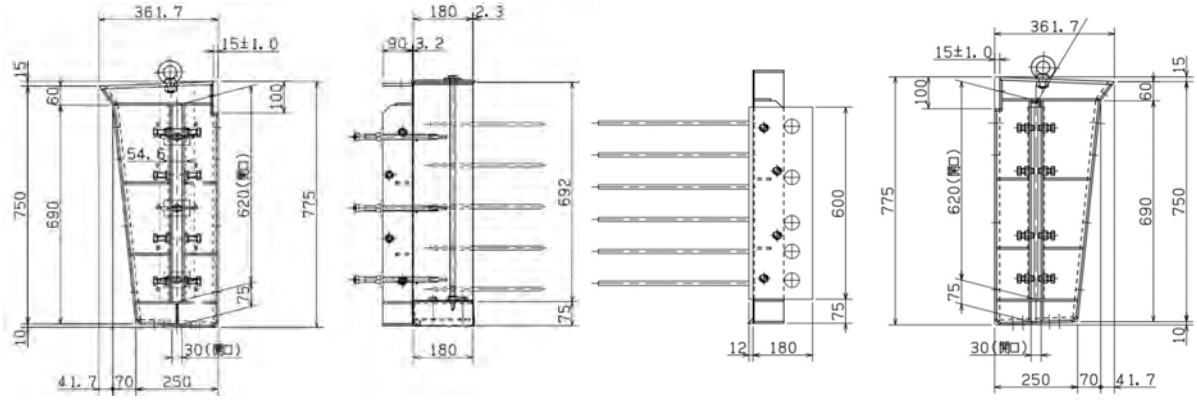
4.2.1　型枠の計画、設計及び製作

PCa 壁高欄は、基本、JIS 工場で製作され、型枠は鋼製型枠が基本で、一般に転用して用いられる。

高炉スラグ微粉末を混入したコンクリートは、ループ鉄筋配置の関係で、壁高欄を天地反転して打設されるが、型枠は、コンクリートの締固めによる振動や蒸気養生による熱応力などの繰り返しによるそりやねじれが生じることのないよう、十分な強度、剛性を有する鋼製型枠を使用するのがよい。また、鋼製型枠は、脱型時に製品を損傷させることなく取り外せる構造が望ましい。鋼製型枠の参考例（前面袴が無い場合）を図-4.2.1 に示す。



(a) 型枠組み上がり状況参考図



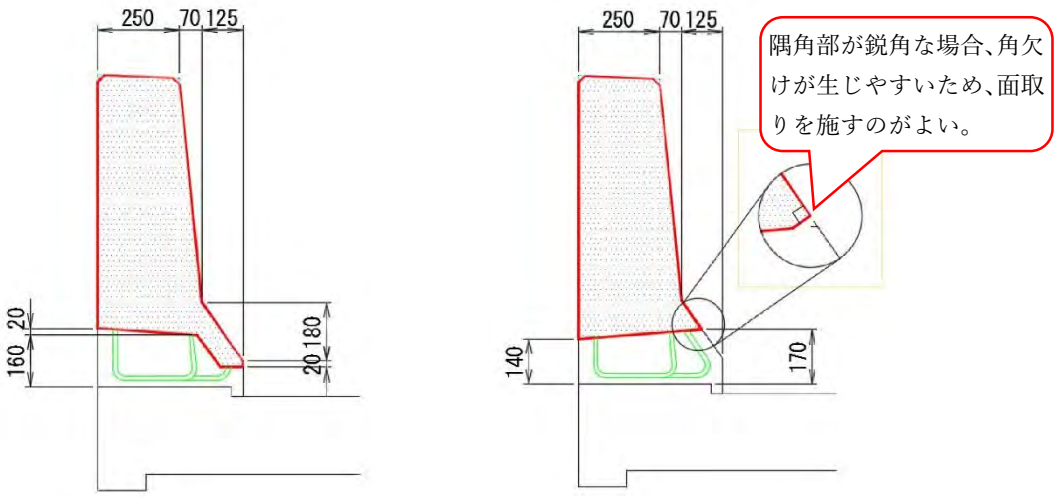
(b) 溝側端枠参考図　　(c) PBL 側端枠参考図

図-4.2.1 鋼製型枠構造参考図

4.2.2　隅角部の面取り

PCa 壁高欄の部材各端部の面取りの寸法は、特に指定がない場合は、「JIS A 5373 設計･製造便覧」より、C10 程度とする。

PCa 壁高欄の下端部は、**図-4.2.2** の赤線に示す形状例が考えられるが、鋭角形状の場合は脱型時や運搬時に欠けやすいため、鋭角にならない断面形状とするのが望ましい。



(a) PCa 壁高欄の前面に袴を設けた壁高欄
（下端部が鋭角でない場合）

(b) PCa 壁高欄の前面に袴を設けない壁高欄
（前面下端部が鋭角な場合）

図-4.2.2 製品下端部の形状と面取り例

4.3　鉄筋と型枠の組立て

4.3.1　鉄筋ユニットの組立て

鉄筋は、設計図面に示された材質、径及び本数を用いて、運搬、ストック及び型枠内設置時に変形が生じないよう、結束用焼きなまし鉄線などにより堅固に組立てる。

鉄筋組立て架台上での組立て状況例を**写真-4.3.1** に、鉄筋ユニットのストック状況例を**写真-4.3.2** にそれぞれ示す。

写真-4.3.1 鉄筋組立て状況例

写真-4.3.2 鉄筋ユニットのストック状況例

4.3.2　鉄筋組立時の許容誤差

鉄筋の組立てにおいては、鉄筋の間隔、径及び最小かぶりが設計図面通りであることを確認する。ここに、NEXCO の「コンクリート施工管理要領 2-5-2 出来形基準」に示されている鉄筋組立時の許容値を**表-4.3.1** に示す。

表-4.3.1 鉄筋組立時の許容値

項　目	許容値
かぶり	－5mm～＋10mm
鉛直中心間隔	±20mm
水平中心間隔	±20mm 又は規定寸法の 10%以下のうち小さい方の値

4.3.3　付属物の取付け

遮音壁アンカーや吊り用インサートアンカーなどの付属物を取り付ける場合には、指定された材質、径及び本数を確実に所定の位置に配置するため、鉄筋などとの干渉を事前に確認することが重要である。吊り用インサートアンカーの設置例を**写真-4.3.3** に示す。

また、壁高欄天端に吊り治具を設ける場合には、寒冷地を含めた凍結融解や塩害による耐久性を十分勘案した方法とする必要がある。

写真-4.3.3 吊り用インサートアンカーの設置例

4.3.4　型枠の組立て

側型枠は、片面を先行して組み立てるが、その際、転倒防止を確実に施す。

次に、事前に組み立てた鉄筋ユニットを所定の位置にセットし、PBL 鋼板や吊り用インサートアンカーなどを取り付ける。その際、所定のかぶりを確保できるよう、モルタル製スペーサーを側面 1m² 当り 2 個以上、底面 1m² 当り 4 個以上設置する。その後、反対側の側型枠を組み立てる。型枠の組立て状況例を**写真-4.3.4** から**写真-4.3.6** に示す。

写真-4.3.4 片側の側型枠の組立て状況例

写真-4.3.5 鉄筋ユニットの配置状況例

特に、吊り用インサートアンカーの配置については、ストック時、搬出時、搬入時、仮置き時、建込み時等の各状況に応じ、前面袴を有する平置きの場合、前面袴を有しない立て置きの場合について、施工現場の環境に応じた吊り方法や吊り治具の種類を選択し、吊り用インサートアンカーの種類、配置位置等入念に計画して配置する必要がある。

写真-4.3.6 反対側の側型枠の組立て状況例

4.4 剥落防止工

橋梁高架部での上部構造からのコンクリート片等の落下物による人的影響等を避けるため、壁高欄コンクリートにファイバーを混入したファイバーコンクリートを用いて PCa 壁高欄を製作する場合や、外型枠にメッシュ状の SAMM シート（剥落防止シート）を設置して PCa 壁高欄を製作する場合がある。

DAK 式壁高欄の実績では、SAMM シートを設置する場合が多いため、ここでは、その一例を示す。**写真-4.4.1** は、外側鋼製型枠に SAMM シートを設置した例である。

SAMM シートを PCa 壁高欄
から少し垂らした例

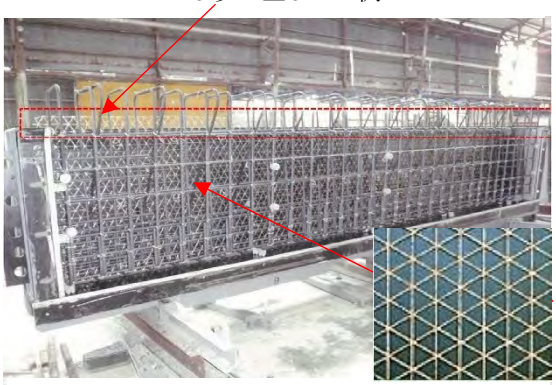


写真-4.4.1 SAMM シートの配置例

DAK 式壁高欄の場合、床版と PCa 壁高欄接合部のモルタル充填が現場施工となるため、床版を含めた接合部での SAMM シートの配置方法や背面型枠の設置方法等、施工性、剥落防止機能性を損なわない適切な配置の検討が必要である。

4.5 通信管路の配置 [2)]

NEXCO の場合、PCa 壁高欄内には、通信管路が配置される場合が多い。通常、硬質塩化ビニル電線管の管径標準呼径 50mm 及び 40mm を満足する VE54 管あるいは VE42 管が組合せで配置される場合が多い。

DAK 式壁高欄では、「**第 3 章 DAK 式壁高欄の設計 3.7 構造細目 3.7.10 通信管路の配置**」で述べたように、バネ式通信管路を標準としており、その配置状況の一例を**写真-4.5.1** 及び**写真-4.5.2** にそれぞれ示す。

写真-4.5.1 バネ式通信管路 2 条配置例

写真-4.5.2 バネ式通信管路端部配置例

バネ式通信管路の配置に際しては、コンクリート打設時に管路自体が撓んだりしないよう、設計図面通りに堅固に配置する必要がある。また、コンクリート打設時にバイブレーターが管路に当たって破損しないよう、十分注意するとともに、特に、PCa 壁高欄同士の接合部には、通信管路の連続性を保つため、バネで突出する接合管が配置される。そのため、接合部の両端部の管路出口の配置がずれないよう、十分注意しなければならない。

4.6 コンクリートの品質と配合 [2)、6)]

4.6.1 品 質

DAK 式壁高欄コンクリートは、早強セメントをベースに高炉スラグ微粉末を混入し、遮塩性、凍結融解抵抗性を高めた高耐久性コンクリートとしており、表-4.6.1 に示す品質を有するものとしている。

表-4.6.1 コンクリートの品質

項　　目	品　　質
圧縮強度（28 日材齢）	40N/mm^2 以上
高炉スラグ微粉末	単位結合材量（早強セメント＋高炉スラグ）の 30%以上
スランプ	15～18cm（±2.5cm）
空気量	4.5%（±1.5%）
塩化物イオン量	原則として 0.3kg/m^3 以下

4.6.2 示方配合

高炉スラグ微粉末を混入したコンクリートの配合は、所要の強度及び耐久性を考慮し、打込み時に適切なワーカビリティーを有する範囲で、単位水量をできる限り少なく定める。

高炉スラグ微粉末は、JIS A 6206「コンクリート用高炉スラグ微粉末」に適合しているものを使用する。なお、粗骨材の最大寸法は 20mm を標準とする。

4.7　コンクリートの打込み及び養生

4.7.1　コンクリートの打込み

コンクリートの打込みは、鉄筋や付属物あるいは通信管路の移動が生じないよう、また、材料分離が生じないよう留意して行う。そのコンクリートの打込み状況例を**写真-4.7.1**に示す。

締固めは、コンクリートが鉄筋や通信管路の周囲及び型枠の隅々まで確実に充填されるように行う。特に、端部のPBL配置部まわりと、製品取出しインサートや高さ調整治具を埋め込む場合の周辺は、入念に締固めを行う。

写真-4.7.1 コンクリートの打込み状況例

4.7.2　コンクリートの養生

コンクリートの打込み終了後は、十分な湿気を与えて養生を行う。脱型時の有害なひび割れ、はく離、変形などがなく、かつ所定の品質が得られるように、養生の方法と期間を定める。

常圧蒸気養生は、コンクリート練混ぜ後3時間以上経ってから開始し、1時間につき15℃以下の割合で温度を上げ、最高温度を65℃以下とする。

養生状況例を**写真-4.7.2**に示す。

写真-4.7.2 蒸気養生状況例

4.8　製品の取出し及び接合面の処理

4.8.1　製品の取出し

製品の取出し状況例を**写真-4.8.1**に示す。

型枠の取外し（脱型）強度は、「**コンクリート標準示方書［施工編］2012 土木学会**」に準拠してコンクリートの圧縮強度が14N/mm^{2}以上になってから行い、製品に有害なひび割れ、変形、欠けなどが生じないようにする。

写真-4.8.1 製品の取出し状況例

また、製品の取出しは、吊上げ時の強度等、実績を踏まえ、コンクリートの圧縮強度は25N/mm^{2}を目安とするのが望ましい。

4.8.2　小口面及び打継ぎ面の処理

PCa 壁高欄の両側小口面の処理は、現場施工となる接合モルタルの付着が良好になるよう、粗面仕上げとする。

写真-4.8.2 のように、型枠表面に擬結遅延剤を塗布し高圧水で洗い出すのがよい。

コンクリートの打込み仕上げ部は、接合部の打継ぎ面となるため、表面のレイタンスや緩んだ骨材粒等を完全に取り除いて粗面に仕上げる。

写真-4.8.2 小口面の洗出し状況例

4.9　仮置き保管

4.9.1　仮置き保管

仮置き保管は、不等沈下などが生じないような場所を選ぶ。

仮置き保管の状況例として、袴付き PCa 壁高欄の場合は、基本的に平置きとなるため、その場合の平置き保管例を**写真-4.9.1** に、また、袴の無い PCa 壁高欄の場合は、立置きが可能なため、その場合の保管例を**写真-4.9.2** にそれぞれ示す。

写真-4.9.1 平置き保管状況例

写真-4.9.2 立置き保管状況例

特に、寒冷地等で蒸気養生にて製作される PCa 壁高欄では、ストック時の移動時等に急冷による表面ひび割れの懸念があるため、蒸気養生後は、急冷による影響が出ないよう、初期段階で PCa ブロックを覆う等の対策を講じるのが望ましい。

また、風雨にさらされると、コンクリート表面に色ムラなどが生じる場合がある。原因として、表面での水和生成物（水酸化カルシウムや炭酸カルシウム）の生成状況の違いや剥離剤の影響によることが考えられるため、脱型後にコンクリート表面を洗うことが有効であり、また、インサートや吊金具などの汚れを取り除いておくことも有効である。

4.9.2　露出鋼材の防錆

ストックヤードでの保管期間が長期間に及ぶ場合、孔あき鋼板（PBL）や PCa 壁高欄下部の鉄筋などの露出鋼材には、保管期間によって、適切な防錆剤を塗布するのがよい。

特に、露出鉄筋（ループ鉄筋）については、耐久性確保の観点から、エポキシ樹脂塗装される場合が多い。

また、DAK 式壁高欄の場合、露出鋼材（孔あき鋼板等）については、接合部の耐久性確保の観点から、亜鉛メッキ塗装を標準としている。孔あき鋼板（PBL）の亜鉛メッキ塗装の例を**写真-4.9.3** に示す。

写真-4.9.3　孔あき鋼板の亜鉛メッキ塗装例

4.10　出来形管理

製品の出来形管理として、全数について外観検査及び寸法検査を実施する。

外観検査では、使用上有害な、きず、ひび割れあるいはねじれなどの欠点がないことを確認する。

寸法検査では、所定の形状寸法を満足していることを確認する。NEXCO の「**コンクリート施工管理要領 2-5-2 出来形基準**」に示されている許容値を**表-4.10.1** に示す。要領には、長さの規定はないが、据付け誤差に配慮し±5mm 程度とするのがよいとした。

表-4.10.1 寸法の許容値

項　目	許容値
厚さ	±5mm
高さ	−10mm～＋20mm

4.11　運搬、搬出

製品の運搬・搬出にあたっては、PCa 壁高欄の品質に有害な影響を与えないように行い、関連法令などに十分配慮する。

PCa 壁高欄の吊上げ、運搬に際しては、製品に角欠け、大きな曲げやねじれが生じないよう、吊り上げ方法を考慮した支持点の位置や支持方法を適切に決定する。また、堅固に転倒防止を施す。

写真-4.11.1 には、袴を設けた PCa 壁高欄の平置き状態での搬出状況を、また、**写真-4.11.2** には、袴の無い PCa 壁高欄の立て置き状態での搬出状況をそれぞれ示す。

写真-4.11.1 平置き搬出状況例

写真-4.11.2 立て置き搬出状況例

第 5 章　DAK 式壁高欄の施工 [2)]

5.1　準備工

5.1.1　現地の確認

現場での建込みに先立ち、施工延長や施工場所の状況を確認する。

写真-5.1.1 は、DAK 式壁高欄工着手前の状況例で、床版施工用の足場が残置されている場合は、DAK 式壁高欄工用に適しているかを調査する。

写真-5.1.1 壁高欄工着手前の状況例

5.1.2　PCa 壁高欄の搬入計画

工場にて製作した PCa 壁高欄をトレーラーや大型トラックなどで現地に搬入する。

搬入荷姿の例としては、工場からの搬出状況例として「**第 4 章　PCa 壁高欄の製作　4.11 運搬、搬出**」の**写真-4.11.1** あるいは**写真-4.11.2** に示したような荷姿で現場に搬入される。その後、PCa 壁高欄の建込みを円滑に行うため、PCa 壁高欄の種類と形状、納入日時、数量、荷下し場所、日当たりの施工量等を考慮して、PCa 壁高欄の受入れを計画する。

また、荷下しや建込みに使用するクレーンなどの揚重機の機種を選定し、建込み順序や据付け場所等も計画しておく。

5.2　PCa 壁高欄の荷下し、仮置き及び建込み

5.2.1　PCa 壁高欄の荷下し

前面袴を有する PCa 壁高欄の荷下しの状況例を**写真-5.2.1** に示す。なお、「**第 4 章　PCa 壁高欄の製作　4.3.3　付属物の取付け**」での**写真-4.3.3** で、壁高欄天端吊り用インサートアンカーの配置状況を示したが、天端吊りの場合には、壁高欄を安全に吊れる治具等を検討する必要がある。この一つの例を**写真-5.2.2** に示す。

写真-5.2.1 荷下ろし状況の例

写真-5.2.2 天端吊りの治具の設置例

5.2.2　PCa 壁高欄の仮置き

現場に搬入された PCa 壁高欄は、建込みまで、一時的に現場ヤードか橋面上等に仮置きされる。

仮置きにあたっては、PCa 壁高欄に角欠け等が生じないよう慎重に取り扱うとともに、仮置き時の支持材によって PCa 壁高欄が変色しないよう、支持する材料や支持方法にも十分注意を払う必要がある。

写真-5.2.3 は、前面袴を有する PCa 壁高欄を橋面上に仮置きした状況例を示す。

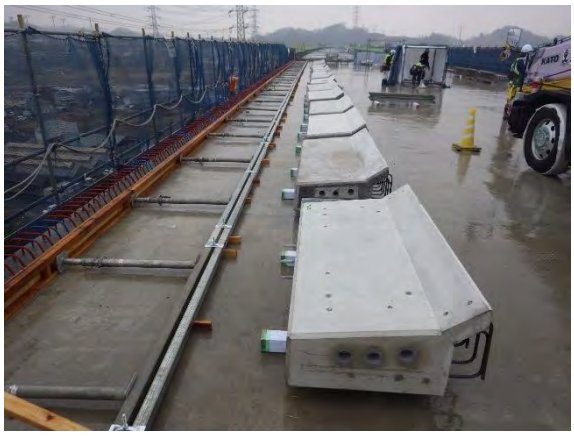


写真-5.2.3 橋面上に仮置きされた状況例

5.2.3　PCa 壁高欄の建込み [10)]

PCa 壁高欄の建込み状況の例を**写真-5.2.4** に示す。なお、この PCa 壁高欄は、前面袴を有するタイプである。PCa 壁高欄は、橋面の縦断勾配を考慮して設置するため、玉掛けワイヤーの片方にチェーンブロック等を取り付け、勾配の微調整を容易に行えるようにするのが望ましい。また、建込んだ後の状況の例を**写真-5.2.5** に示す。

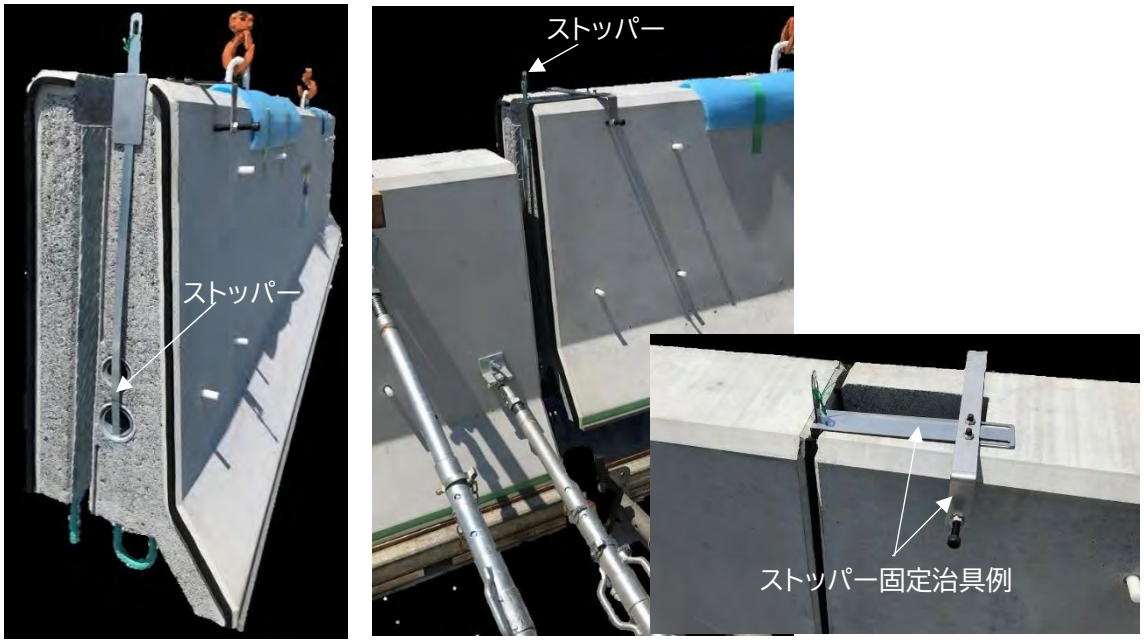
写真-5.2.4 建込み時の状況例

写真-5.2.5 建込み後の状況例

写真-5.2.5 から分かるように、小口面の両側にクッション材を貼り付けている。これは、後で接合部に充填するモルタル材の漏れ及び製品同士の衝突を防止することが目的である。また、**写真-5.2.5** は、PCa 壁高欄内に通信管路を配置した場合で、壁高欄接合部にパッキン材を貼り付けた例を示している。

DAK 式壁高欄では、「**第 3 章　DAK 式壁高欄の設計　3.7.10　通信管路の配置**」で示した通り、通信管路の壁高欄同士の接合には、バネ式通信管路を標準としていることから、次に、建込み時にバネ式通信管路を用いた場合の接合部の状況例を示す。

写真-5.2.6（a）は、バネ式接合管を押し込んでストッパーで止めた状況例を示し、**写真-5.2.6(b)**は、ストッパーを取り付けた状態で建て込んでいる状況例を示しており、また、**写真-5.2.6（c）**は、ストッパーの施工完了の状況例を示す。



（a）ストッパーの取り付け状況例　　**（b）建込み状況例**　　**（c）施工完了例**

写真-5.2.6 バネ式通信管路の配置状況例

建込みが終了し、高さ調整が終了後、ストッパーを下側の通信管路から順に引抜き、バネで押し込んだ接合管が所定の位置に配置されているかを確認する。ずれが生じている場合には、接合管を動かし、再度バネの圧力で押し込む。

なお、バネ式通信管路の場合、高さ方向の上下あるいは前後のずれや壁高欄の橋軸方向の離れの許容誤差は、**表-5.2.1**の通りとしている。

表-5.2.1　バネ式通信管路の接合部の施工の許容誤差

誤差の方向	最大許容誤差
上下・前後のずれ	5mm
左右の離れ	10mm （設計目地幅 10mm+最大許容誤差 10mm＝20mm まで対応可能）

表-5.2.1 の「**上下･前後のずれ**」に関しては、**図-5.2.1**（上下方向の例）に示すように、PCa 壁高欄同士の設計上の接合目地幅 10mm に対して、上下あるいは前後に 5mm 以下の施工誤差であれば、バネで押し込まれる接合管の挿入が可能である事を確認している。しかしながら、施工をスムースに行なうためにも、この上下あるいは前後の施工誤差を極力小さくする事が望ましい。

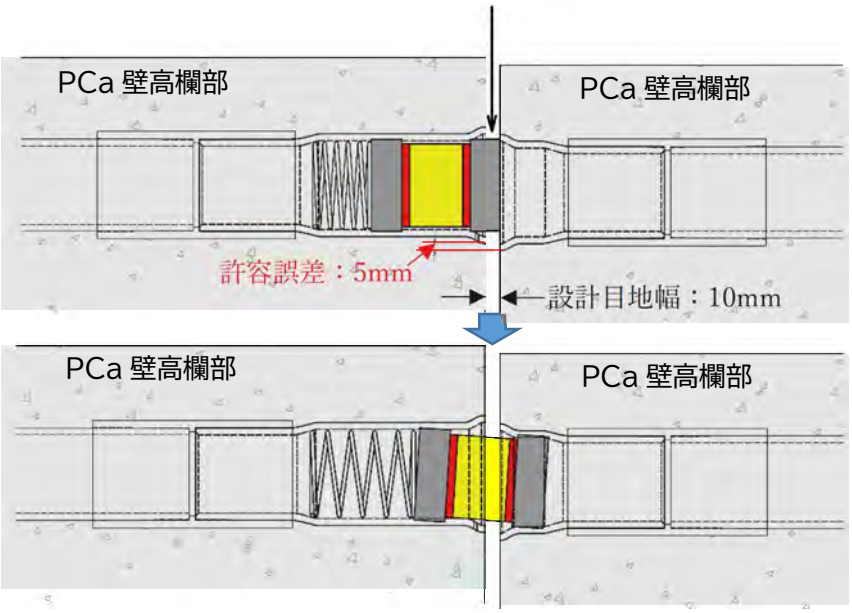


図-5.2.1 バネ式通信管路の接合管の上下の例の許容誤差

また、表-5.2.1 の「左右の離れ」に関しては、図-5.2.2 に示すように、接合目地の左右の離れに関する接合目地幅の最大許容誤差を 20mm とし、20mm まで接合が可能で、モルタルの漏れが無いことを確認している。しかしながら、確実な接合を行なうためには、左右の離れに対する施工誤差を極力小さくする事が望ましい。

なお、図-5.2.1 及び図-5.2.2 に示す赤のマーキングは、バネで押し込まれる接合管が確実に挿入されているかを確認するためのもので、所定の位置に挿入されている場合は、外からは見えない。しかしながら、例えば、左右の離れに対して、最大許容誤差 20mm を超えた場合（図-5.2.2 の下側の図）には、接合管の赤のマーキングが見え、モルタル充填時の流入防止性能が確保されない状態となるため、極力左右の離れを小さくして、赤のマーキングが見えないようにする事が重要である。

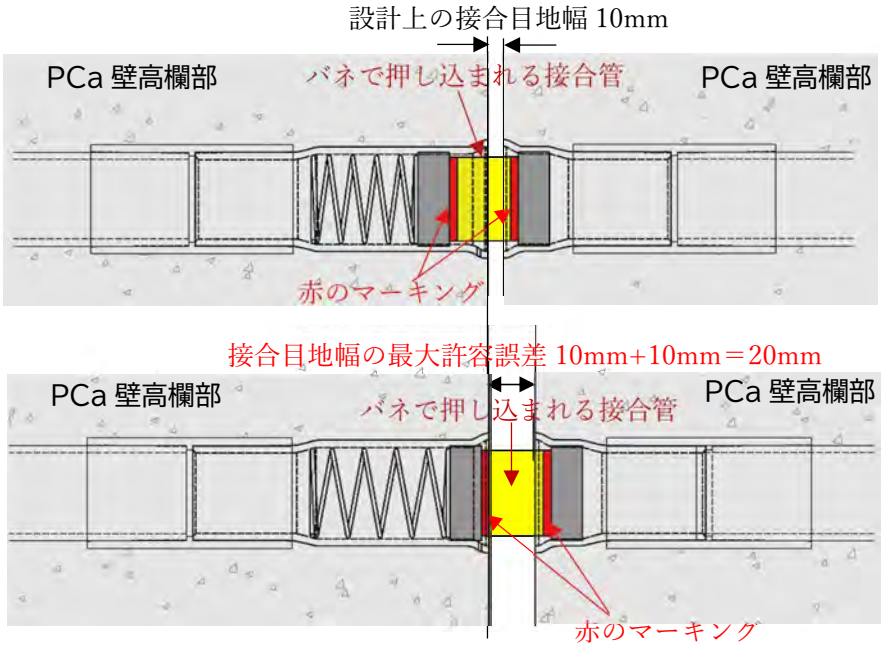


図-5.2.2 バネ式通信管路の接合管の左右の離れの許容誤差

5.2.4　高さ調整及び仮固定

高さ調整の方法には、PCa 壁高欄をクレーンで吊りながら行なう方法や床版と PCa 壁高欄の間にバントジャッキを用いて行なう方法等があるが、DAK 式壁高欄の場合には、通常、高さ調整用のボルトを 1 ブロック当たり 4 本用いて調整するのが一般的である。

なお、高さ調整用のボルトは、**写真-5.2.7** に示すように、床版側にねじ切りを設けてボルトを回しながら調整する方法と、**写真-5.2.8** に示すように、PCa 壁高欄側にねじ切りを設けて調整する方法の 2 種類が採用されている。

写真-5.2.7　床版側にねじ切りを設けた例

写真-5.2.8　壁高欄側にねじ切りを設けた例

ここで、ジャッキを用いた場合の高さ調整の施工例を**写真-5.2.9** に示す。また、PCa 壁高欄同士の接合目地部で幅員方向に凹・凸が出ないよう、適切な治具等を用いて仮固定を行なう事が重要である。

写真-5.2.10 は、壁高欄の前面を仮固定した状況例を示し、**写真-5.2.11** は、壁高欄の背面を仮固定した状況例をそれぞれ示す。

写真-5.2.9 ジャッキによる高さ調整の施工例

写真-5.2.10 前面の仮固定の施工例

写真-5.2.11 背面の仮固定の施工例

また、設置寸法の許容誤差は、**表-5.2.2** に示す通りで、許容誤差以内であることを確認した後、すみやかに仮固定を行なう事が重要である。

表-5.2.2 設置寸法の許容誤差

項　目	許容値
設置標高	－10 ㎜～＋20 ㎜
幅　員	設計値以上

5.3　接合モルタルの使用材料及び試験練り

5.3.1　使用材料

床版と PCa 壁高欄との接合部に充填する接合モルタルには、高耐久モルタルとしての「リペアメント NS　TYPE Ⅱ」を用いる事を基本としている。

これは、「**第 2 章　DAK 式壁高欄の特長　2.2　材料的特長**」で説明したように、接合モルタルにも高炉スラグ微粉末を混合しており、流動性の向上や収縮抑制を図り、遮塩性を向上させた高耐久モルタルとして DAK 式壁高欄の一部となっている。

本材料の使用量の例を**表-5.3.1** に示し、その物性は、**表-5.3.2** に示すとおりで、J_{14} ロートの流下時間が 8±2 秒を満足するように練混ぜ水量を調整する事としている。

なお、圧縮強度の物性値は、試験値の例であるが、物性値の詳細は、「**第 2 章　DAK 式壁高欄の特長　2.2　材料的特長**」で詳しく述べている。

表-5.3.1 「リペアメント NS TYPE Ⅱ」の使用量

1 袋あたりの使用量			モルタル 1m³ あたりの使用量 (25 kg×78 袋)	
リペアメント NS TYPE Ⅱ (kg)	水 (kg)	練上り量 (ℓ)	リペアメント NS TYPE Ⅱ (kg)	練混ぜ水 (kg)
25	4.00 (3.75～4.25)	12.9	1,938 (25kg×78 袋)	310

表-5.3.2 「リペアメント NS TYPE Ⅱ」の物性

フレッシュ性状の目安	圧縮強度 (N/㎜²)		
J_{14} 漏斗 (秒)	3 日	7 日	28 日
8±2	64.5	75.9	86.8

5.3.2　試験練り

本練りに先立ち、J_{14} ロートを用いたコンシステンシー試験で、8±2 秒を満足するフレッシュ性状を決めるための試験練りを行う。

試験練りには、20ℓペール缶などとH型羽の高速型（800rpm 以上）ハンドミキサーを使用する。

まず、標準水量の 4.0kg の水を入れ、ハンドミキサーを回転させながら「リペアメント NS TYPEⅡ」を徐々に投入し、**写真-5.3.1** に示すように、全量投入後、2 分間混練りする。

コンシステンシー試験を行い、8±2 秒を満足するように、4.0±0.25 kg/袋の範囲内で水量を増減させ、所要水量を決定する。

写真-5.3.2 は、J_{14} ロートを用いたコンシステンシー試験状況例を示す。

写真-5.3.1 試験練りの状況例

写真-5.3.2 コンシステンシー試験状況例

5.4　接合部の型枠設置

接合モルタル充填時にモルタルが型枠設置部から漏れないよう、型枠が当たる箇所には養生テープ等を貼り付ける等、工夫が望ましい。また、型枠下部にもクッション材等を挿入する等、モルタルの漏れ防止の工夫が望ましい。

写真-5.4.1 及び**写真-5.4.2** は、「**第 4 章　PCa 壁高欄の製作　4.2.2　隅角部の面取り**」の（a）図に示した前面に袴を有する PCa 壁高欄の場合の型枠設置例を示す。

写真-5.4.1 は前面型枠の設置例で、**写真-5.4.2** は背面型枠の設置例を示す。

写真-5.4.1 前面型枠の設置例

写真-5.4.2 背面型枠の設置例

前面に袴を有する PCa 壁高欄では、前面から接合モルタルの充填確認ができないため、DAK 式壁高欄では、**写真-5.4.2** に示したように、背面の型枠は、目視で充填状況が確認できるよう、透明型枠の使用を標準としている。

一方、壁高欄の背面から目視にて接合モルタルの充填状況を確認できないような施工環境や他の理由で前面袴を設けられない場合には、「**第 4 章　PCa 壁高欄の製作　4.2.2　隅角部の面取り**」の**図-4.2.2 (b)** 図に示した PCa 壁高欄下端の形状となるため、**写真-5.4.3** に示すような型枠設置前の状況となる。この場合は、基本、壁高欄前面及び背面に型枠を設置して、モルタルを圧入する充填方法が一般的である。**写真-5.4.3** は、前面側の型枠設置前にモルタル漏れ防止用のテーピングを施した例であり、**写真-5.4.4** は、前面型枠の設置状況例である。この場合は、モルタル充填時のエア抜きは、一般的に、背面型枠からである。

このように、前面及び背面に型枠を設置する場合、エア抜きホースの設置は、前面側あるいは背面側のそれぞれの選択肢がある。ただし、両者の場合、PCa 壁高欄下端の形状（勾配）に留意する必要があり、エアが抜けやすくなるよう、勾配の方向に留意しなければならない。

前面袴を有する場合も有しない場合も、接合モルタルは、基本、圧入となるため、型枠は、パイプサポート、チェーン、ターンバックル等で堅固に固定する必要がある。

写真-5.4.3 モルタル漏れ防止用テーピングの例

写真-5.4.4 前面型枠の設置状況例

接合モルタルの施工延長が長く、一気に充填できない場合等、接合部に妻型枠を設けて、段階的に充填する方法が考えられる。この場合には、ループ鉄筋内に配置されている橋軸方向鉄筋は、妻型枠の所で不連続として良いとした。これについては、「**第 7 章　DAK 式壁高欄の標準化　7.2.5　接合モルタル充填時の妻型枠設置によるループ鉄筋内の軸方向鉄筋の不連続化**」で詳述している。

5.5　モルタル材の仮置き及び本練り

5.5.1　モルタル材の仮置き

製造工場より出荷された接合モルタルとして使用するモルタル材「リペアメント NS

TYPEⅡ」は、袋が破損しないように丁寧に荷下しを行い、**写真-5.5.1** に示すように、枕木やパレットの上に静置し、シートやネットで覆い、直射日光や風雨に曝さないようにする。

袋が破損したものや、一度開封したものは使用せず、1 回ごとに 1 袋分を使いきる事が望ましい。

写真-5.5.1 モルタル材の仮置き例

5.5.2　モルタル材の本練り

本練りは、**写真-5.5.2** に示すように、グラウトミキサーを使用して行う。ダマの発生や攪拌の不良を防ぐため、試験練りで決定した所定の水量を先に投入しておき、攪拌しながらモルタル材をゆっくり投入する。モルタル材の粉体の飛散防止には、**写真-5.5.3** に示すような集塵機が効果的である。ミキサーの底の羽根や側面に固形分が付着していないかを確認しながら全量を投入し、その後 120 秒～180 秒程度練り混ぜる。

写真-5.5.2 本練り状況例

写真-5.5.3 超微細粉塵対策型集塵機の例

本練りのシステム例を**図-5.5.1** に示すが、練り時間が作業のクリティカルになるため、必要に応じて、グラウトポンプ 1 台に対してグラウトミキサー 2 台を使用するのが望ましい。

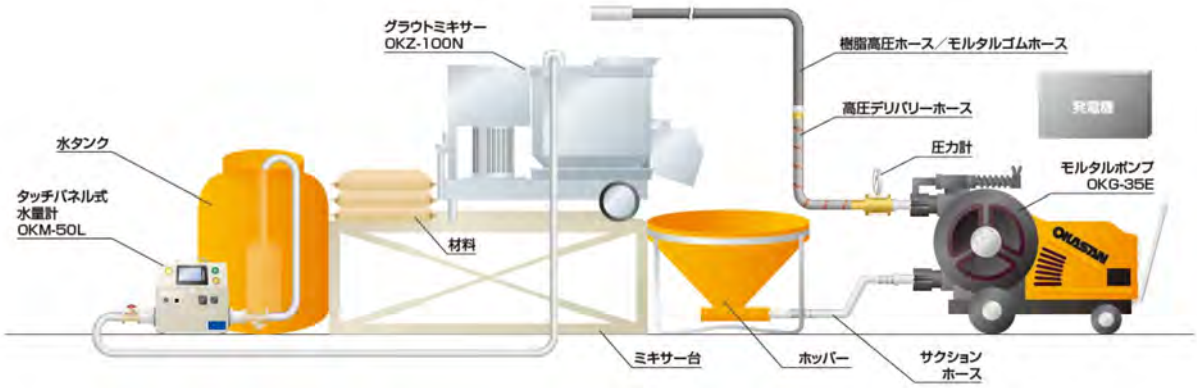


図-5.5.1 本練りのシステム例

なお、壁高欄の施工延長が長く、連続的なモルタル充填によって工期短縮を検討する場合には、別途、モバイルによる充填方法が可能となっている。

5.6　モルタル材の充填

モルタル材の充填方法は、「**5.4 接合部の型枠設置**」で説明したように、DAK 式壁高欄として標準化している前面袴を有する場合と前面袴を有しない場合の施工方法が可能であるため、ここでは、これら二つの方法についての施工例を示す。

5.6.1　モルタル材を流下させる方法

DAK 式壁高欄の標準構造として前面に袴を有する場合のモルタル充填方法で、「**5.4 接合部の型枠設置**」の**写真-5.4.1** 及び**写真-5.4.2** で説明した通り、この場合は、モルタル充填時のエア抜きは、基本、PCa 壁高欄同士の接合部からとしている。

この場合のモルタル材の流下方法は、以下の通りである。

① グラウトホースの筒先を、写真-5.6.1 に示すように、PCa 壁高欄接合部天端の PBL 接合部の溝部(「第 3 章　DAK 式壁高欄の設計　3.7.2　PCa 壁高欄部材の形状」図-3.7.5 の PBL 接合部の縞鋼板背面の空間)から挿入し、モルタル材を流下させてループ継手の接合部を横流れさせる。

② 隣接する溝部まで横流れし充填された後、次の溝部にホースを移動し、その次の溝部まで横流れさせ、順次繰り返し充填させる。

③ モルタル材の流下方法では、基本、圧入方法の時のような充填時のエア抜き用のビニルホースを設置しないため、モルタルの横流れ及び充填状況を確認できるよう、壁高欄背面側の型枠には、写真-5.6.2 に示すように、透明型枠の使用を標準としている。

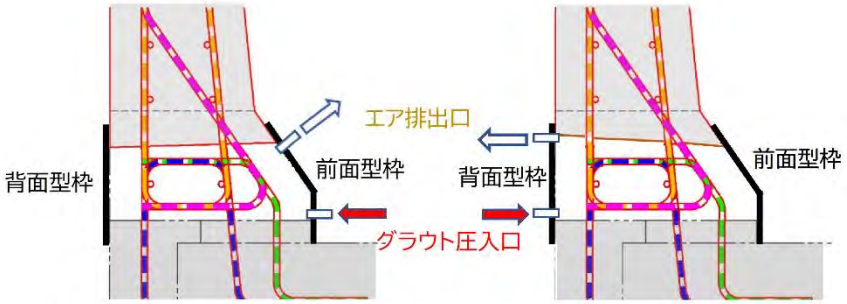
写真-5.6.1 壁高欄天端らかのモルタル注入例

写真-5.6.2 透明型枠による充填確認状況例

5.6.2　モルタル材を圧入させる方法

モルタル材を圧入させる方法は、一般的に、「**5.4 接合部の型枠設置**」の**写真-5.4.3** 及び**写真-5.4.4** で説明したように、壁高欄の前面に袴を有しない場合に採用される。

圧入方法は、一般的に、以下の方法で行なわれるが、モルタル圧入は、施工環境等を考慮し、実績では、**図-5.6.1** に示す方法が採用されている。



(a) 前面型枠からのモルタル圧入例　　(b) 背面型枠からのモルタル圧入例

図-5.6.1 前面袴を設けない場合のモルタル圧入方法例

① 型枠にモルタル充填用あるいはエア抜き用のホースを取り付ける場合は、予め設けた圧入口やエア排出口にφ38 程度の軟質塩化ビニルホースを設置する。なお、この場合、前面側型枠の場合と背面側型枠の場合があるが、施工環境等を勘案して適切に圧入ホース及びエア抜きホースの取り付け方向(位置と間隔)を検討する。

② 型枠には、エア抜き用ホースのみで、充填用ホースを取り付けずモルタル充填を行なう場合には、「5.6.1　モルタル材を流下する方法」と同様、PBL 接合部の PBL 鋼板背面の空間から充填用ホースを挿入し、モルタル材を流下させてループ継手の接合部を横流れさせる方法もある。

③ ビニルホースの抜けや型枠の破損、モルタルの漏れが生じないよう、モルタルポンプに過大な圧力がかかっていないことを確認しながら、慎重に充填する。

④ エア抜き用のビニルホースは長めに立ち上げ、立ち上げたビニルホース内のモルタルのオーバーフローを確認後、ビニルホースを折り曲げて結束線、番線などにより結束する。充填完了後、水頭差による圧力を作用させる。

写真-5.6.3 は、前面型枠を設置した状況例で、前面にはエア抜き用ホースもモルタル圧入用ホースも設置しない施工例であり、**写真-5.6.4** は、**写真-5.6.3** の前面型枠の場合の背面側の型枠設置状況例とモルタル圧入用及びエア抜き用ホースに水頭圧をかけた場合の状況例を示す。

写真-5.6.3 前面型枠設置状況例

写真-5.6.4 水頭圧を掛けた状況例

なお、壁高欄背面からエアを抜く場合には、**図-5.6.1** に示したように、PCa 壁高欄下端の勾配は、外側に上向きの勾配となる。

5.7　養　生

モルタル充填後、10～30℃の温度に保つように、養生シートなどで養生を行う。

養生期間の目安は、**表-5.7.1** に示すとおり、その期間は過度な振動や衝撃などを与えないように注意する。

但し、**表-5.7.1** の養生期間は目安であり、施工環境等によって適切な養生期間を検討するのが良い。

表-5.7.1 モルタル養生期間の目安

夏季	春秋期	冬季
2 日～3 日	3 日～4 日	4 日～5 日

5.8　モルタル材の型枠脱型、後片付け、完成

モルタル材の充填・硬化後の型枠脱型、後片付け後の完成直後の施工状況例を**写真-5.8.1** に示す。

写真-5.8.1 完成状況例

第 6 章　標準施工工程 [2)]

6.1　概　要

NEXCO では、鋼橋のコンクリート床版の劣化に伴い、橋梁床版の更新事業が進められている。

その中で、橋梁の更新では、急速施工対応として、**写真-6.1.1** に示すように、コンクリート床版撤去後、PCa・PC 床版を架設して、壁高欄を施工する工法が多く採用されている。

写真-6.1.1　更新事業の施工例

ここで、壁高欄の施工においては、一般的に、場所打ち壁高欄が考えられるが、更新事業の場合は、基本、工期の短縮が要求されるため、あるいは耐久性向上の観点から、PCa 壁高欄が採用される場合が多い。

本章では、DAK 式壁高欄の採用によって、場所打ち壁高欄の施工工程がどれほど短縮できるかを、標準的な施工工程として比較する。

6.2　標準施工工程算出の基本条件

標準施工工程算出においては、**写真-6.1.1** 及び**図-6.2.1** に示すように、片ライン（下り線あるいは上り線）を撤去後、PCa・PC 床版を施工して、床版完成後、壁高欄を施工する標準的な工程として比較する。

また、壁高欄の施工は、**図-6.2.2** に示すように、片ラインの片側壁高欄とする。

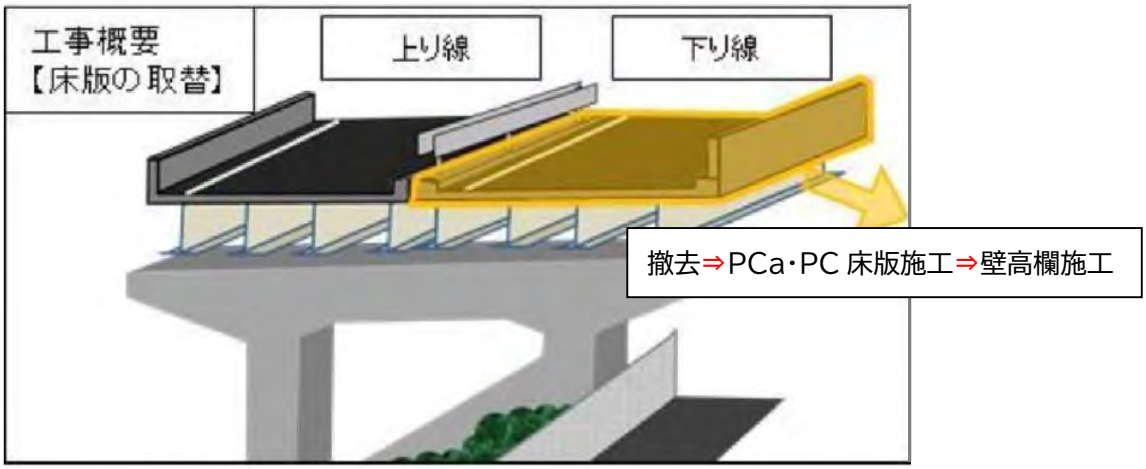


図-6.2.1　標準施工工程算出のための施工図例

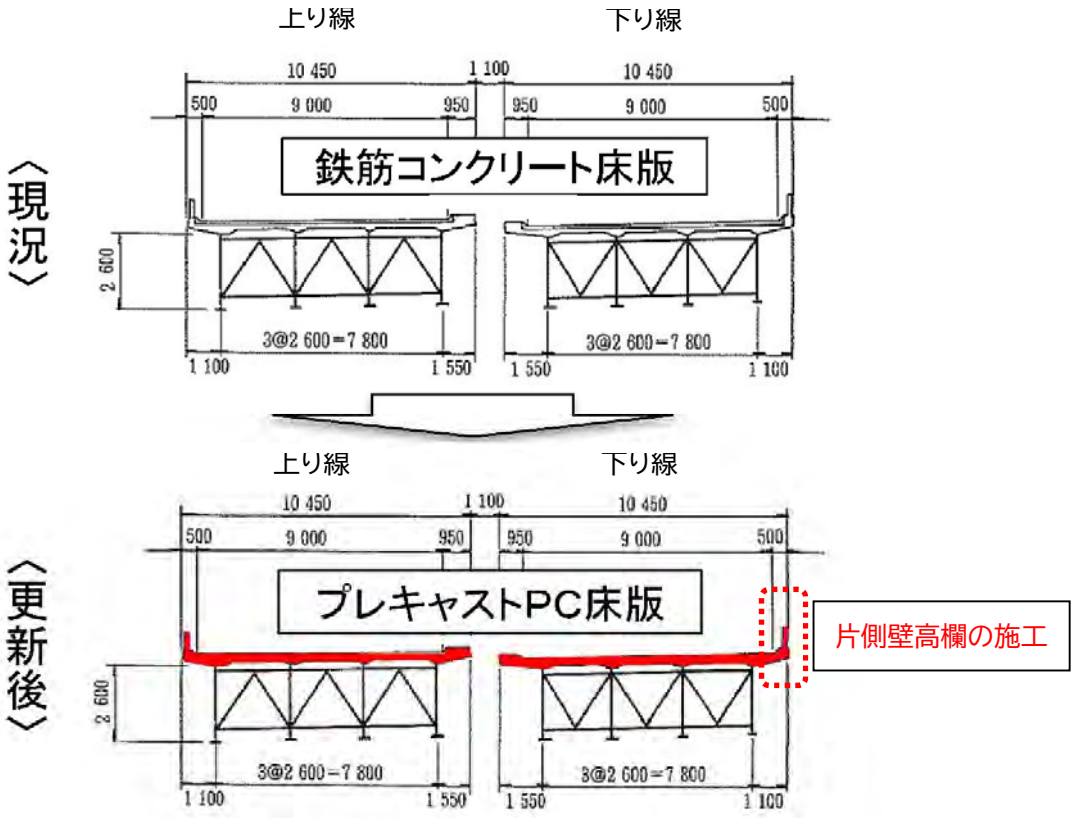


図-6.2.2　標準施工工程算出用対象壁高欄

6.3　標準施工工程の算出条件

標準施工工程の算出条件は、橋梁の更新事業として標準的な橋長を選択し、図-6.2.2 の片ラインの片側壁高欄の施工として、以下の条件とした。

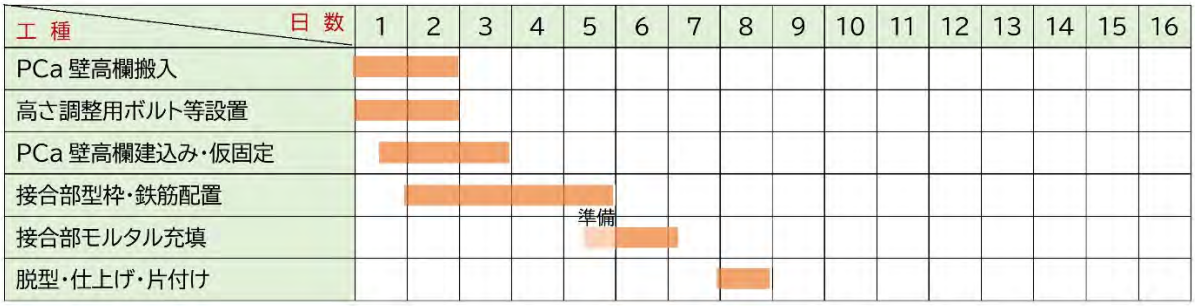
① 新設か更新か ： 更 新
② 床版形式 ： PCa･PC 床版
③ 壁高欄タイプ ： NEXCO フロリダ型 SB タイプ
④ 壁高欄施工条件 ： 橋梁床版の施工が先行して出来上がっている
⑤ 付属物条件 ： なし、通信管路もなし
⑥ 壁高欄の施工長 ： 150m(片ラインの片側のみ)
⑦ DAK 式壁高欄一体の基本長 ： 4.0m
⑧ 壁高欄の重量 ： 一体当たり 2.5tf 以下
⑨ 施工条件 ： 昼間作業(8 時間と仮定)一班体制で搬入から開始
⑩ DAK 式壁高欄の配置方法 ： 一体 4.0m ブロックを端部から順次並べる

これらの条件を基本に、DAK 式壁高欄と場所打ち壁高欄の標準的な施工工程を比較している。

6.4 DAK 式壁高欄と場所打ち壁高欄の標準施工工程の比較

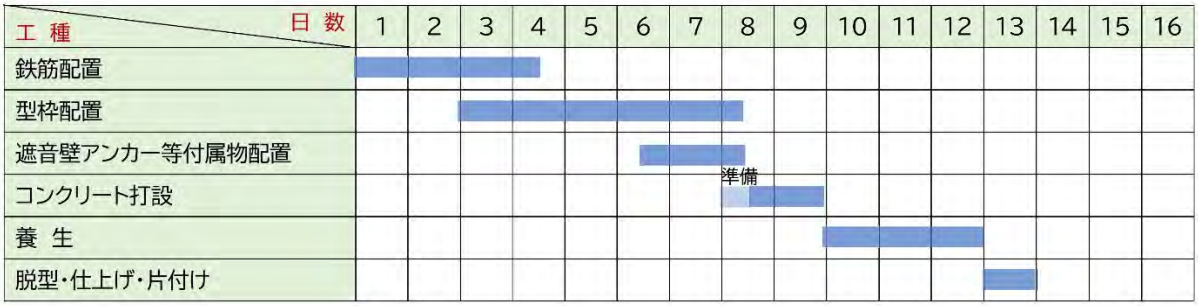
DAK 式壁高欄の場合と場所打ち壁高欄の場合での片ライン片側 150m 施工の標準施工工程は、概ね、それぞれ**表-6.4.1** 及び**表-6.4.2** の通りである。なお、この標準施工工程は、これまでの実績を基に作成している。

表-6.4.1 DAK 式壁高欄の場合の標準施工工程（片ライン片側 150m 施工）



但し、DAK 式壁高欄の日架設枚数：15 枚、接合モルタル日最大充填長：100m

表-6.4.2 場所打ち壁高欄の場合の標準施工工程（片ライン片側 150m 施工）



両者の比較の結果、DAK 式壁高欄の場合には、橋長 150m で片ライン片側の壁高欄の施工では、PCa 壁高欄の搬入開始後、ほぼ 8 日で施工完了となる。

一方、場所打ち壁高欄の場合には、橋長 150m で片ライン片側の壁高欄の施工は、鉄筋組立開始後、ほぼ 13 日で施工完了となる。

従って、片ライン片側 150m の施工ではあるが、DAK 式壁高欄の方が場所打ち壁高欄に比べ、場所打ち壁高欄で 13 日必要な施工が 5 日短縮できる結果となっている。

6.5　標準施工工程に関する考察

ここでは、DAK 式壁高欄及び場所打ち壁高欄の標準施工工程を、橋梁の更新工事で標準的な橋長として、参考までに 150m を基本に比較した。

標準施工工程の目安としては、壁高欄の施工自体、**図-6.2.1** 及び**図-6.2.2** に示した片ラインの片側壁高欄の施工に着目して比較したものである。

結果は、昼間作業の一班体制で、DAK 式壁高欄の場合には、8 日間の施工に対し、場所打ち壁高欄の場合には、13 日の施工となり、DAK 式壁高欄の採用により、場所打ち壁高欄の施工に比べ、大幅に工期短縮が可能となっている。

勿論、施工延長が長くなれば、場所打ち壁高欄の施工日数より、工期短縮比率が大きくなることが期待できる。

なお、本比較は、標準工程算出基準に示した通り、あくまで付属物も無い基本構造での比較であるため、付属物（通信管路等）を有するとか、1 体のブロック長が標準の 4.0m 以外等、条件次第ではこの限りでは無いため、慎重に比較する必要がある。

第 7 章　DAK 式壁高欄の標準化 [2)]

7.1　標準化の方針

DAK 式壁高欄の標準化は、基本的には、現場施工の更なる省力化や耐久性向上を念頭に、製作面、構造面、及び施工面より、基本的な方向性を示すものである。

以下に、その標準化の基本方針を示す。

① 現場施工となる接合モルタルの充填量の削減や壁高欄前面型枠設置作業の省力化及び耐久性向上を考慮し、PCa 壁高欄前面に PCa 壁高欄と一体化した袴を設ける。
② ループ鉄筋継手部の接合モルタルの充填は、型枠にエア抜きホース等を設置することなく、PBL 継手部背面の壁高欄天端から充填ホースを挿入し充填する。
③ DAK 式壁高欄の橋軸方向継手として用いられる鋼材（PBL 鋼板、フランジプレート及び縞鋼板）は、ストック時を含め耐久性向上の観点から、亜鉛メッキ塗装とする。
④ 壁高欄背面のモルタル充填用の型枠は、基本、モルタルの充填状況が目視で確認きるよう、透明型枠を用いる。
⑤ 接合モルタルの施工延長が長い場合等、一気に充填できない場合、充填部に妻型枠を設置する事ができる。この場合には、ループ鉄筋内の橋軸方向鉄筋を妻型枠位置で不連続にする事ができる。
⑥ PCa 壁高欄内に配置する通信管路は、基本、橋軸方向継手部の接合の確実性及び施工性の向上を鑑み、バネ式通信管路を採用する。

以上の内容を DAK 式壁高欄の標準化工法の基本方針としている。

7.2　標準化に向けた具体的対策

7.2.1　DAK 式壁高欄の形状及び構造

DAK 式壁高欄の標準化の基本方針の①で述べた通り、PCa 壁高欄工法の場合、最も重要なのが、現場の工期短縮に直結する省力化施工に向けた対策である。

「第 3 章　DAK 式壁高欄の設計　3.7.2 PCa 壁高欄部材の形状」の図-3.7.3 に示し、また、その特長を説明したように、DAK 式壁高欄の接合部の標準断面形状は、図-7.2.1 に示した前面袴付きの構造とする。

なお、前面袴部においては、袴部の剛性を高める目的で、補強として PCa 壁高欄側のハンチ筋に D13 鉄筋を沿わせている。

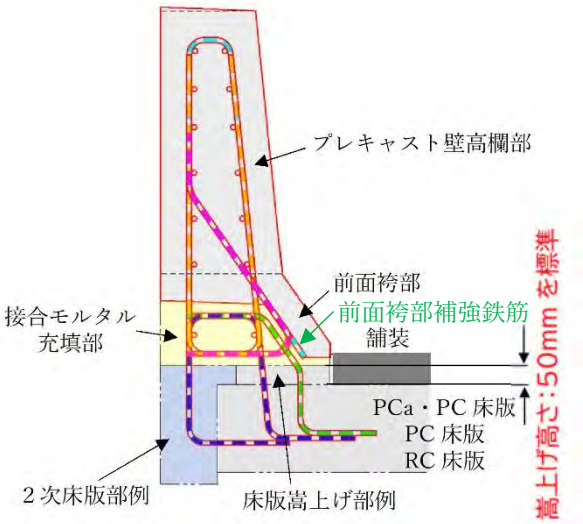


図-7.2.1　標準化の断面形状

この構造により、床版と PCa 壁高欄との接合部に充填するモルタル充填断面積が、従来工法（袴無し構造）の約 60%となり、充填量の削減に伴い、施工の省力化が図れる。

また、通常、PCa・PC 床版の端部は、耐久性向上のため、一部嵩上げしているが、DAK 式壁高欄の標準化では、基本、50mm と設定して袴等の構造を決めている。

本構造とすることにより、PCa 壁高欄の前面袴部が下方に下がって、橋面防水工の施工範囲内に入るため、床版との接合面からの水分の浸透による耐久性劣化の要因に対し、耐久性向上に繋がる構造となる。

7.2.2　接合モルタルの充填方法

DAK 式壁高欄の標準化の基本方針の②で述べた通り、接合モルタルを流下させるための充填用ホースの差し込み口を**図-7.2.2** に示すが、PBL 鋼板を差し込んでいる縞鋼板の背面形状を円弧上に形状変化させることによって、充填用のホースを差し込むことができるようにしている。

「**第 3 章　DAK 式壁高欄の設計　3.7.2　PCa 壁高欄部材の形状**」の**図-3.7.5** に示し、また、その特長を説明したように、従来は、壁高欄前面あるいは背面に設置した型枠にモルタル充填用ホースの差し込み口を設けていたが、その必要が無くなり、モルタル充填用型枠脱型後のモルタル表面処理が無くなり、施工性の向上に繋がる。

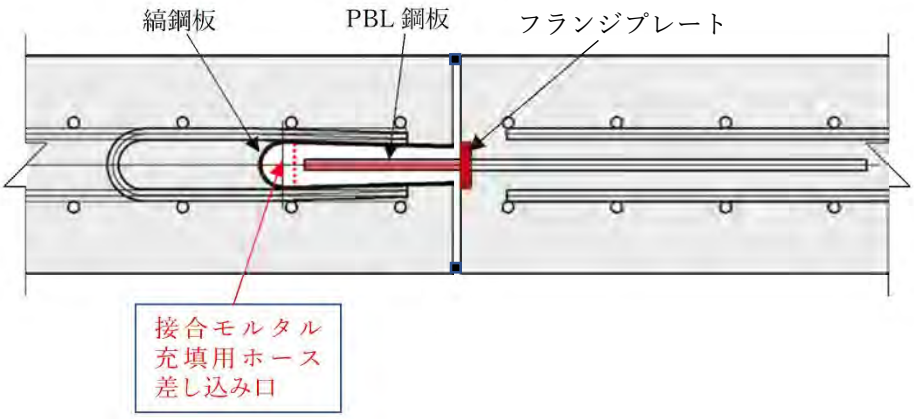


図-7.2.2　橋軸方向接合部（平面図）のモルタル充填用ホース差し込み口

7.2.3　露出鋼材の防錆方法

DAK 式壁高欄の標準化の基本方針の③で述べた通り、DAK 式壁高欄の橋軸方向接合部に配置されている PBL 鋼板、フランジプレート及び縞鋼板（**図-7.2.2** 参照）については、「**第 4 章　PCa 壁高欄の製作　4.8.2　露出鋼材の防錆**」に示し、また、その内容を説明したように、工場でのストック時を含めた耐久性向上の観点から、基本、亜鉛メッキ塗装を標準としている。

7.2.4　透明型枠の採用

DAK 式壁高欄の標準化の基本方針の④で述べた通り、**図-7.2.1** の標準化断面形状図から分かるように、接合部のモルタル充填のための型枠設置について、「**第 5 章　DAK 式壁高欄の施工　5.4　接合部の型枠設置**」に示し、また、その内容を説明したように、壁高欄背面側については、モルタル充填が目視で確認できるように、透明型枠を標準とした。

DAK 式壁高欄の場合、床版あるいは PCa 壁高欄との界面が、モルタル充填により構造一体性としての性能が求められるため、床版部と PCa 壁高欄の界面部及び橋軸方向接合部には、モルタルが完全に充填されなければならない。

特に、壁高欄前面に袴を設けた構造のため、壁高欄前面からモルタル充填状況を確認することができない。そのため、**写真-7.2.1** に示すように、壁高欄背面側に透明型枠を設置して、モルタル充填状況が確認できるようにすることを標準としたものである。

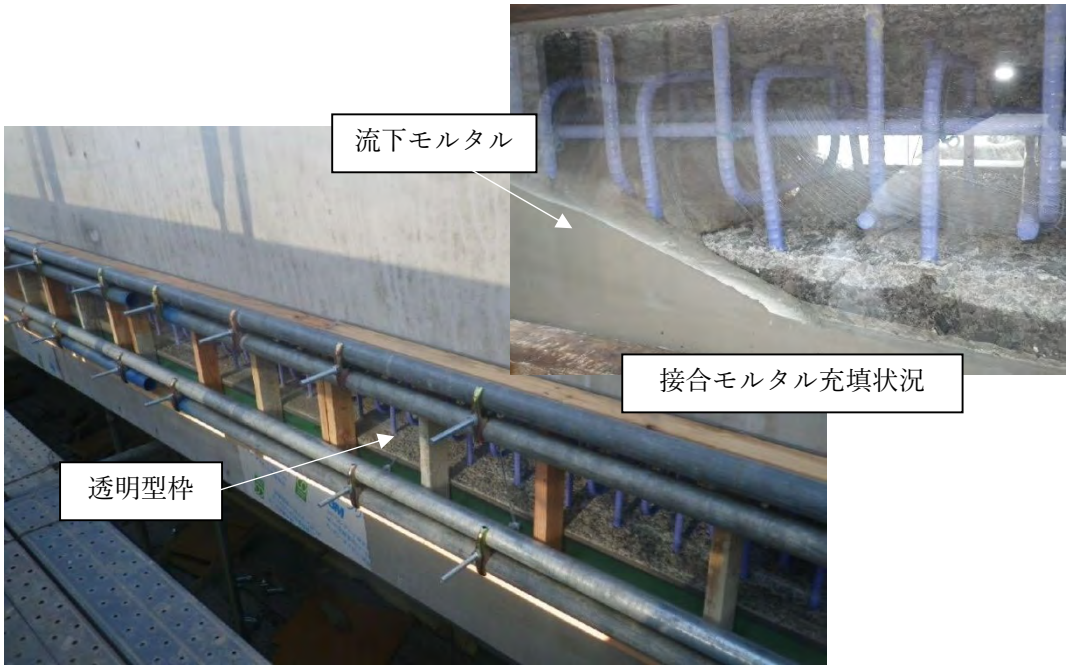


写真-7.2.1　壁高欄背面側での透明型枠の設置例

7.2.5　接合モルタル充填時の妻型枠設置によるループ鉄筋内の軸方向鉄筋の不連続化

DAK 式壁高欄の標準化の基本方針の⑤で述べた通り、接合部のループ鉄筋継手内に配置される橋軸方向鉄筋は、施工性を考慮して、床版と PCa 壁高欄との接合部内へのモルタル充填において、PCa 壁高欄同士の橋軸方向接合部に妻枠を設ける必要がある場合には、**図-7.2.3** に示すように、接合部位置で不連続としてよいとした。

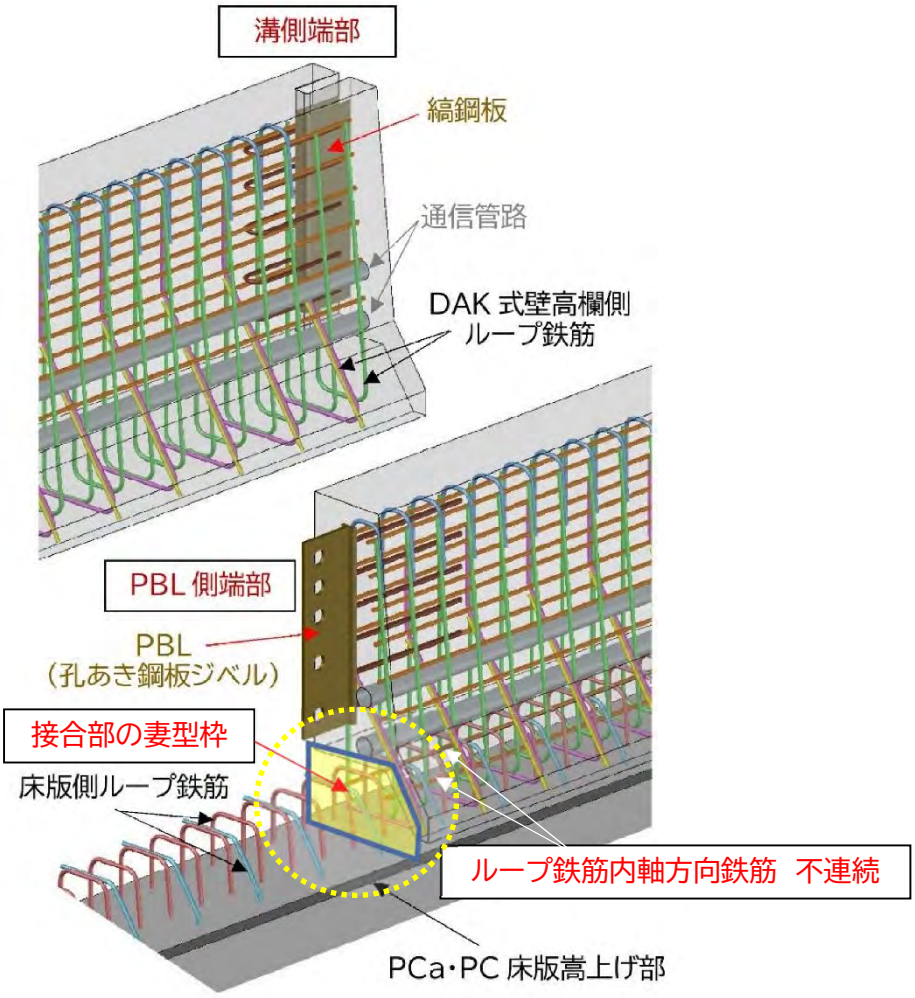


図-7.2.3　接合部のループ鉄筋継手内に配置される橋軸方向鉄筋の不連続配置図

このように、妻型枠設置位置において、ループ鉄筋内の橋軸方向鉄筋を不連続に出来るため、妻型枠の設置が容易にでき、現場施工の省力化に繋がると考えられる。

なお、この橋軸方向鉄筋の不連続化における構造安全性については、「**試験法 441**」に準じた衝突試験によって確認している。

7.2.6　バネ式通信管路の採用

DAK 式壁高欄の標準化の基本方針の⑥で述べた通り、特に、PCa 壁高欄工法では、その部材内に通信管路が配置される場合、通信管路同士の接合部の構造や接合方法によって、PCa 壁高欄の建込み時の手間に繋がり、それが直接工期短縮に影響を及ぼすことになる。

そこで、DAK 式壁高欄工法では、「**第 3 章　DAK 式壁高欄の設計　3.7.10　通信管路の配置**」で説明したように、**写真-7.2.1** に示す「**バネ式通信管路**」を標準とした。

このバネ式通信管路の採用により、PCa 壁高欄の建込み時にストレス無く、スムースに建込むことができ、また、建込んだ後の接合管が簡単に、また、確実に挿入配置できることから、施工の省力化が図れ工期短縮に繋がると考えられる。

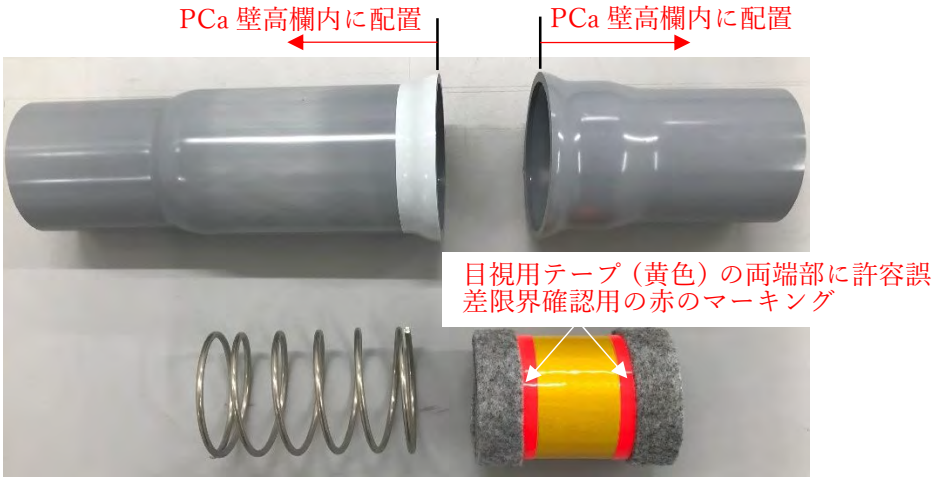


写真-7.2.1　バネ式通信管路の各部材の構成写真例

7.3　その他の現場施工の省力化対策

現場施工の省略化の一つとして、接合モルタル充填作業の省力化がある。

基本的には、モルタル混合のためのミキサーと充填用のポンプが必要になるが、充填量を稼ぐためには、一般的に、ミキサーと充填用ポンプを増やせば良いと考えられるが、各現場によって、接合モルタルの施工条件が異なるため、適切なミキサーと充填用ポンプの台数と配置計画が必要である。

一方、DAK 式壁高欄では、連続的なモルタル混合、充填を可能にするモバイル車（ミキサーと充填用ポンプ一体型の車載車）を使った施工方法も可能としており、この場合は、練り混ぜ作業の省力化が図れるため、施工延長が長い場合には有効と考えられるが、施工性、工費等も勘案した最適な充填計画が必要である。

【参考文献】

本文中に参考にした参考文献は、以下の通りである。

1）青木圭一，上平謙二，田中嘉一，高木絹華：プレキャスト壁高欄の新たな接合工法の開発，第 9 回 複合・合成構造の活用に関するシンポジウム論文集，2012 年 10 月，土木学会

2）DAK 式プレキャスト壁高欄「Technical Report」，DAK 式プレキャスト壁高欄 工法研究会

3）藤原 了，北川陽介，蝦名貴之，藤原浩巳：高炉スラグ超微粉末を用いたモルタル注入材料の開発と実部材への適用，「第 28 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集」，2019 年 11 月

4）設計要領第二集　橋梁建設編　6 章　支承及び付属物　5．防護柵：設計要領　第二集　橋梁建設編，橋梁建設編，東日本高速道路株式会社，中日本高速道路株式会社，西日本高速道路株式会社，平成 28 年 8 月

5）道路橋示方書・同解説　III コンクリート橋編　2 章 設計の基本 及び 3 章 許容応力度，道路橋示方書・同解説　III コンクリート橋編，社団法人　日本道路協会，平成 24 年 3 月

6）上平謙二，青木圭一，二戸信和：塩害を受ける剛性防護柵のコンクリートかぶりに対する耐久性評価，「橋梁と基礎」4 月号，2021 年 4 月

7）上平謙二，青木圭一：高炉スラグ微粉末を混入したプレキャスト壁高欄の塩害に対する耐久性について，土木学会第 76 回年次学術講演会，第 V 部門，耐久性一般(2)，V-371，2021 年 9 月

8）上平謙二，青木圭一、蝦名貴之、西本英生：高炉スラグ微粉末の有無によるコンクリート製壁高欄の塩害に対する耐久性の比較について，土木学会第 77 回年次学術講演会，第 V 部門，2022 年 9 月発表予定

9）複合構造標準示方書［設計編］［標準編］ 5 章ずれ止め 5.3 孔あき鋼板ジベル，複合構造標準示方書 ▌原則編 ▌設計編，2014 年制定

10）山口岳思，北村 元，大嶋秀明，篠崎英二，長谷川 剛，吉滿龍彦：リブ付き床版の合理化に向けた取り組み　－新東名高速道路 秋山高架橋－，「橋梁と基礎」7 月号，2021 年 7 月

ここでは、上記 6)、7）及び 8）の報告及び論文の全文を掲載する。

塩害を受ける剛性防護柵のコンクリートかぶりに対する耐久性評価

Evaluation of Durability to the Concrete Cover of Stiff Guard Fence under Salinity Environment

Uehira Kenji
上　平　謙　二*
Aoki Keiichi
青　木　圭　一**
Nito Nobukazu
二　戸　信　和***

＊ 開発虎ノ門コンサルタント（株）技術統括部 技師長　工博
＊＊ 中日本高速道路道路（株）名古屋支社 保全・サービス事業部 副部長　工博
＊＊＊（株）デイ・シイ 技術センター 主査　工博

（『橋梁と基礎』Vol. 55, No. 4, 2021年4月号より抜刷）

報　告

塩害を受ける剛性防護柵のコンクリートかぶりに対する耐久性評価

Evaluation of Durability to the Concrete Cover of Stiff Guard Fence under Salinity Environment

Uehira Kenji 上平 謙二*　Aoki Keiichi 青木 圭一**　Nito Nobukazu 二戸 信和***

はじめに

積雪寒冷地に建設された高速道路橋においては，凍結防止剤が散布されるため，過去に施工された剛性防護柵（コンクリート製壁高欄）（以下，壁高欄）は，塩分浸透の影響で，壁高欄に配置された鉄筋が錆び，かぶりコンクリートにひび割れが入り，耐久性低下に繋がる事例が散見されている．

このような環境の中，上記壁高欄では，場所打ちコンクリートであってもプレキャストコンクリートであっても，コンクリートかぶり（以下，かぶり）を一律70 mmと設定している．また，「道路橋示方書」においては，塩害の影響を受ける度合いとして，影響を受ける対策区分Ⅱにおいて，鉄筋コンクリート構造では，かぶり70 mmで100年耐久の表記がある．

しかしながら，壁高欄に付着する凍結防止剤による塩分濃度の状況を含めた具体的な耐久性の知見が少なく，どの程度の壁高欄表面の塩分濃度によって塩分浸透を受けた場合に，鉄筋位置で塩分濃度が鋼材腐食発生限界濃度に対して100年耐久としているのか，具体的な報告はほとんど見受けられない．

そこで，本報告では，コンクリート標準示方書「土木学会，2017年制定」（以下，コンクリート標準示方書）に準拠し，フィックの拡散方程式を用い，普通ポルトランドセメントを用いた一般的な場所打ち壁高欄の塩分浸透に対する100年耐久を検証するとともに，高炉スラグ微粉末を混合したプレキャスト壁高欄の100年耐久に必要なかぶりについても検証を行い，場所打ち壁高欄と高炉スラグ微粉末を混合したプレキャスト壁高欄の100年耐久に関する必要かぶりの相対的な比較検証により，高速道路橋の更なる高耐久化について考察を行うものである．

1．塩害を受けた場所打ち壁高欄コンクリートの塩分浸透と塩化物イオンの見掛けの拡散係数

凍結防止剤（主にNaCl）の影響を大きく受けた既存の壁高欄（高速道路橋，普通ポルトランドセメント使用）に対して，JSCE-G573-2007に準じ，ランダムにコア抜きした試料から，壁高欄表面からの深さに対する塩化物イオン濃度を分析した結果を**表-1**[1]に示す．

なお，これら3橋の壁高欄に使用された場所打ちコンクリートは，同一の種類で，設計基準強度も同一である．

表-1　既設壁高欄の塩分分析結果

橋梁名	経過年数（年）	塩化物イオン濃度（kg/m³） 試料採取位置（mm） 0～20	20～40	40～60	60～80	80～100
A橋	25	5.564	6.327	2.743	1.098	0.672
B橋	16	5.205	6.225	3.892	1.646	－
C橋	35	6.187	5.812	3.217	2.285	－

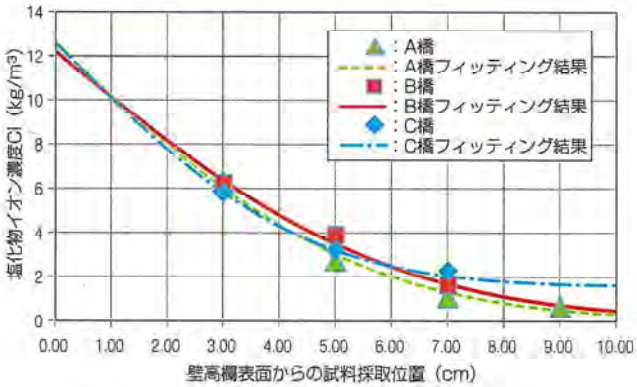


図-1　塩化物イオン濃度と試料採取位置との関係

表-2　フィックの拡散方程式による計算結果

橋梁名	経過年数 t（年）	コンクリート表面の全塩化物イオン濃度 C_0（kg/m³）	見掛けの拡散係数 Dc（cm²/年）	初期塩化物イオン濃度 C_i（kg/m³）
A橋	25	12.46	0.354	0.10
B橋	16	12.10	0.670	0.10
C橋	35	11.05	0.170	1.57

表-1の結果を基に，式（1）に示すフィックの拡散方程式を用いたフィッティング結果と塩化物イオンの見掛けの拡散係数の計算結果をそれぞれ**図-1**[1]および**表-2**[1]に示す．

$$C(x,t)=C_0\left\{1-erf\left(\frac{0.1\cdot x}{2\sqrt{Dc\cdot t}}\right)\right\}+C_i \qquad (1)$$

ここに，$C(x,t)$：コンクリート表面からの距離xにおける塩化物イオン濃度（kg/m³），x：コンクリート表面からの距離（mm），t：経過年数（年），C_0：コンクリート表面における塩化物イオン濃度（kg/m³），erf:誤差関数，Dc：コンクリートの塩化物イオンに対する見掛けの拡散係数（cm²/年），C_i：初期塩化物イオン濃度（kg/m³）

図-1の既存の壁高欄における塩化物イオン濃度と試料採取位置の関係であるが，表面の塩分濃度に関する環境条件の相違も考えられるが，既往の研究[2),3)]と類似した関

＊ 開発虎ノ門コンサルタント(株) 技術統括部 技師長　工博
＊＊ 中日本高速道路道路(株) 名古屋支社 保全・サービス事業部 副部長　工博
＊＊＊ (株)デイ・シイ 技術センター 主査　工博

キーワード：塩害，剛性防護柵，コンクリートかぶり，耐久性

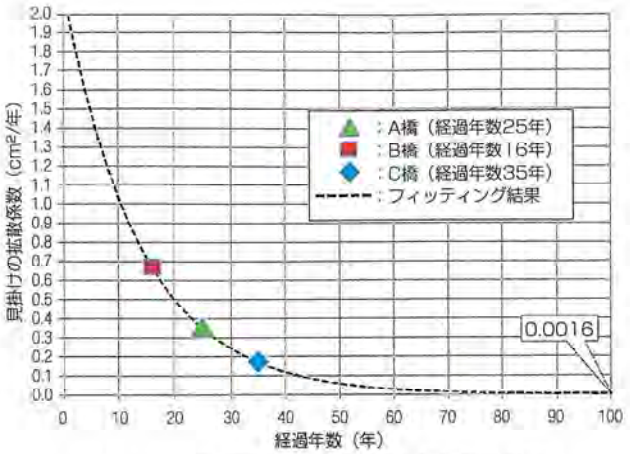


図-2　各橋梁の見掛けの拡散係数と経過年数の関係

係が認められた．

また，図-1のフィッティング結果については，表-1の塩化物イオン濃度の試料結果に対し，壁高欄表面付近では中性化の影響があるとし，かぶり0～20 mmの結果を除外した結果としている．

表-2のフィックの拡散方程式による計算結果を基に，各橋梁の経過年数と見掛けの拡散係数との関係をフィッティングした結果が図-2[1]である．

なお，このフィッティングについては，見掛けの拡散係数を100年でほぼ0に収束すると仮定している．

図-2の見掛けの拡散係数に関するフィッティング結果を水セメント比と経過年数の関係で表したものが式（2）[1]である．

$$\log_{10}Dc(t)=\left(3.0\cdot\left(\frac{W}{C}\right)-1.8\right)\cdot(0.1045\cdot t-1.098)\quad(2)$$

ここに，$Dc(t)$：経過年数（t年）における見掛けの拡散係数（cm^2/年），W/C：コンクリートの水セメント比（＝0.5），t：経過年数（年）

ここで，水セメント比を0.5としたのは，既存の場所打ち壁高欄コンクリートの水セメント比を調査すると，おおむね，0.47～0.54の範囲にあり，この平均的な値として0.5を採用したものである．

2．高炉スラグ微粉末を混合したプレキャスト壁高欄コンクリートの塩分浸透と見掛けの拡散係数

高炉スラグ微粉末を混合したプレキャスト壁高欄については，DAK式プレキャスト壁高欄[1]（以下，PCa壁高欄）があるため，このPCa壁高欄を例にとって検証する．

2－1　コンクリート材料および配合[4),5)]

PCa壁高欄は，コンクリートの設計基準強度を40N/mm²で設計しており，コンクリートの目標スランプを21 cmとし，水セメント比40%，空気量を4.5%としている．

表-3にPCa壁高欄のコンクリートの配合を示す．なお，セメントは，早強ポルトランドセメントを使用し，高炉スラグ微粉末4 000を30 %混合している．

表-3　本壁高欄のコンクリート配合

コンクリートの種類	W/C (%)	単位量（kg/m³）					
		W	H	BF	S	G	AD
40-21-25 (H4000B-30%)	40	170	298	128	783	915	3.84

2－2　塩化物イオンの見掛けの拡散係数

（1）試験方法

試料は，表-3に示したコンクリート配合で製作されたφ100 × 200 mmの円柱供試体を用い，電子線マイクロアナライザ（EPMA）による面分析を行った[5)]．

本方法は，JSCE-G574「EPMA法によるコンクリート中の元素の面分析方法」に従い実施したものである．

また，塩化物イオンの見掛けの拡散係数は，JSCE-G572「浸漬によるコンクリート中の塩化物イオンの見掛けの拡散係数試験方法」に従い，20℃±2℃，濃度10 %の塩化ナトリウム水溶液中に182日間浸漬したφ100×200 mmの円柱試験体より算出している．

（2）塩化物イオン濃度

塩化物イオン濃度（以下，Cl濃度）分布曲線は，表面を0 cmとして深さ方向に0.01 cm（1ピクセル分）ごとに，面分析画像の横方向の領域におけるコンクリート部分のピクセルを抽出し，それらのCl濃度の平均値を求め，これを深さに対してプロットすることにより作成している．

（3）塩化物イオンの見掛けの拡散係数

得られたCl濃度分布曲線から，式（1）のフィックの拡散方程式を用いて浸漬試験による塩化物イオンの見掛けの拡散係数（Dc）と試料表面の塩化物イオン濃度（C_0）を求めている．

なお，Cl濃度分布曲線のうち，拡散係数の計算に採用した範囲は，Cl濃度が最大となった位置よりも内部側全体としている．

182日間の浸漬試験の結果ではあるが，PCa壁高欄

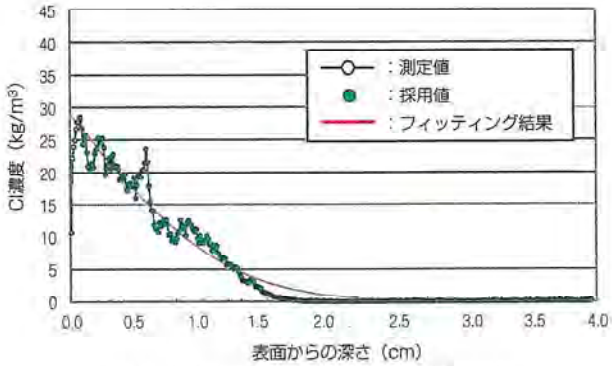


図-3　本壁高欄コンクリートのCl濃度分布

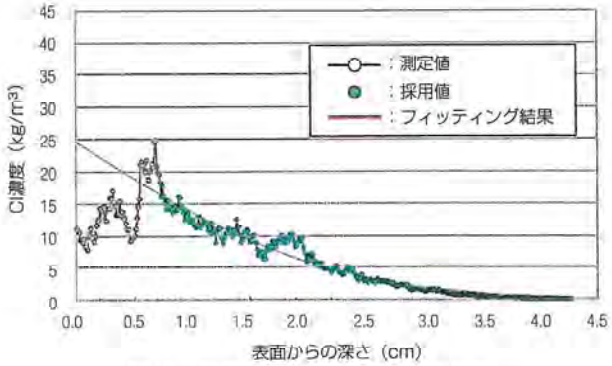


図-4　普通コンクリートのCl濃度分布

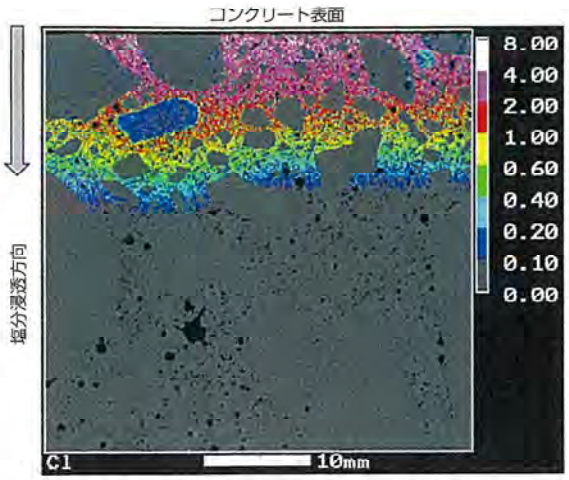


図-5　本壁高欄（H+BF）の面分析結果

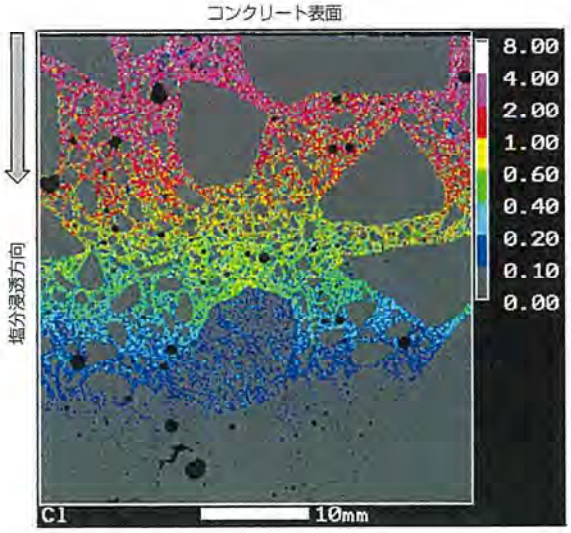


図-6　普通コンクリート（N）の面分析結果

（H+BF）の試料によって得られたCl濃度分布曲線の結果の一例を**図-3**に示す．

また，比較のために実施した普通ポルトランドセメントを用い，設計基準強度30 N/mm^2，スランプ8 cm，水セメント比（W/C）44%で配合した普通コンクリート（N）のCl濃度分布曲線の結果の一例を**図-4**に示す．

参考として，電子線マイクロアナライザ（EPMA）による面分析結果として，PCa壁高欄（H+BF）と普通コンクリート（N）の結果の一例を**図-5,6**にそれぞれ示す．

図-3～**6**までの結果から明らかなように，高炉スラグ微粉末を混合したPCa壁高欄は，普通ポルトランドセメントを用いた壁高欄に比べ，塩分が浸透しにくいことが分かる．

そして，PCa壁高欄コンクリートと普通コンクリートの複数の試験結果に対して，式（1）のフィックの拡散方程式で計算した結果のそれぞれの平均値が**表-4**である．

表-4の結果から，182日間（0.498年）の浸漬試験結果ではあるが，見掛けの拡散係数の比較では，PCa壁高欄は，普通コンクリートを用いた壁高欄に比べ，極めて遮塩性が高いことが分かる．

ここで，**表-4**の経過年数（0.498年）を用いて，水セメント比（W/C）を0.5として式（2）で普通コンクリートの見掛けの拡散係数を計算すると，$Dc=2.060$ cm^2/年となる．この結果は，**表-4**の普通コンクリートの見掛けの拡散係数（$Dc=2.840$ cm^2/年）の結果と比較的よく一致していると思われることから，**表-1**に示した3橋という少ない試料による試験結果ではあるが，**図-2**の実橋壁高欄の見掛けの拡散係数と経過年数のフィッティング結果は，ある程度妥当性のある結果であると推察される．

表-4　フィックの拡散方程式による計算結果

試験体名	経過年数 t（年）	コンクリート表面の全塩化物イオン濃度 C_0（kg/m^3）	見掛けの拡散係数 Dc（cm^2/年）	初期塩化物イオン濃度 C_i（kg/m^3）
H+BF	0.498	31.9	0.534	0.09
N	0.498	24.5	2.840	0.14

3．普通コンクリートとPCa壁高欄コンクリートの見掛けの拡散係数の相関性

ここまで，実際に塩害を受けた普通コンクリートの見掛けの拡散係数とPCa壁高欄の見掛けの拡散係数をそれぞれ計算してきたが，普通コンクリートの見掛けの拡散係数は，3橋の経過年数に対する試験結果であり，一方，PCa壁高欄の見掛けの拡散係数は，182日間の浸漬試験の結果であり，両者の壁高欄が有する見掛けの拡散係数に関する相関性を議論する必要がある．

このことから，普通コンクリートとPCa壁高欄コンクリートの耐久性に関する相関性を議論するため，式（1）のフィックの拡散方程式で表される経過年数（t）を一つの指標として，そのときの各コンクリートの見掛けの拡散係数を比較することが重要であると考えられる．

3－1　普通コンクリートの見掛けの拡散係数の経過年数の評価

普通コンクリートの見掛けの拡散係数に対する経過年数の評価として，土木学会が推奨する塩化物イオン拡散係数の特性値を一つの指標とした．

「コンクリート標準示方書」によると，コンクリートの塩化物イオン拡散係数の特性値は，コンクリートの水セメント比との関係式で表され，普通ポルトランドセメントを使用したコンクリートの場合は，式（3）で計算できるとしている．

$$\log_{10}D_k=3.0(W/C)-1.8\ (0.30\leq W/C\leq 0.55) \qquad (3)$$

ここに，D_k：見掛けの拡散係数の特性値（cm^2/年），W/C：コンクリートの水セメント比

ここで，式（3）に用いる水セメント比は，前述のとおり，既存の場所打ち壁高欄コンクリートの平均的な値として，$W/C=0.5$として塩化物イオン拡散係数の特性値を計算すると，$D_k=0.501$ cm^2/年と計算される．

この拡散係数の特性値を用いて，既存の壁高欄の塩分調査から導かれた見掛けの拡散係数と経過年数の関係式（式（2））を用いて経過年数を計算すると，おおむね20年と計算される．

このことから，塩害を受ける普通コンクリートを用いた壁高欄が20年経過したときの見掛けの拡散係数として，$D_k=0.501$ cm^2/年を一つの指標とする．

3－2　普通コンクリートとPCa壁高欄コンクリートの見掛けの拡散係数の相関性

普通コンクリートとPCa壁高欄コンクリートの塩害に対する耐久性を評価する場合，両者の経過年数を統一した見掛けの拡散係数を評価することが重要である．

そのため，PCa壁高欄コンクリートにおける経過年数20年での見掛けの拡散係数を検討する．

図-2に示した普通コンクリートの見掛けの拡散係数と経過年数の関係を基に，EPMA試験によって得られた182日（以下，0.498年）浸漬のPCa壁高欄コンクリートの見掛けの拡散係数が，20年の経過とともに，どのように変化するかを推定する．

推定方法は，**図-2**の普通コンクリートの見掛けの拡散係数と経過年数のフィッティング結果に対して，PCa壁高欄コンクリートで得られた0.498年浸漬での見掛けの拡散係数（$Dc=0.534\ \mathrm{cm^2/年}$）が20年の経過に対し，前記のフィッティング結果と相似した経過をたどると推定することによって，その相似曲線に対して，経過年数20年時の見掛けの拡散係数をPCa壁高欄の耐久性評価のための見掛けの拡散係数と考えた．

つまり，PCa壁高欄では，0.498年経過の見掛けの拡散係数のみが既知であるため，普通コンクリートの見掛けの拡散係数曲線に相似なPCa壁高欄コンクリートの見掛けの拡散係数曲線を検討するため，まず，普通コンクリートの0.498年時の見掛けの拡散係数を式（2）で計算した．結果は，前述でも示したが，$Dc=2.060\ \mathrm{cm^2/年}$となる．したがって，0.498年時の両者の見掛けの拡散係数の比を求めると，2.060/0.534＝3.858となる．

この比を用いて，式（2）のフィッティング曲線の値をこの比で除した値をPCa壁高欄コンクリートの見掛けの拡散係数とした．

結果，経過年数20年でのPca壁高欄コンクリートの見掛けの拡散係数は，$Dc=0.130\mathrm{cm^2/年}$となった．

そのときのPCa壁高欄の見掛けの拡散係数曲線を**図-7**に示す．

ここで，PCa壁高欄コンクリートの見掛けの拡散係数$Dc=0.130\ \mathrm{cm^2/年}$の信頼性について検証する．

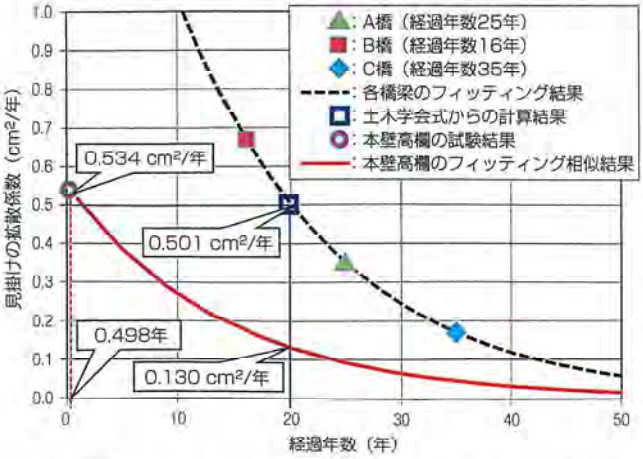


図-7　普通コンクリートと本壁高欄コンクリートの見掛けの拡散係数の相関

既往の研究[2)]によると，高炉スラグ微粉末4000を混入した普通ポルトランドセメントを用いたコンクリートの長期海洋暴露試験結果として，7.9年の試験結果から，経過年数と見掛けの拡散係数の関係が示されているが，高炉スラグ微粉末の混入率が20%の場合の見掛けの拡散係数は，おおむね$0.4\ \mathrm{cm^2}$/年で，40%の場合では，おおむね$0.2\ \mathrm{cm^2}$/年となっており，このことから，PCa壁高欄として混入率が30%の場合の見掛けの拡散係数を推測すると，おおむね$0.3\ \mathrm{cm^2}$/年となる．この見掛けの拡散係数は，時間が経過すると低下することが知られているとも記されている．

この結果とPCa壁高欄を比較すると，PCa壁高欄で得られた見掛けの拡散係数は，早強ポルトランドセメントを使用し，高炉スラグ微粉末を30%置換した設計基準強度$40\ \mathrm{N/mm^2}$のコンクリートで，濃度10%の塩化ナトリウム水溶液中に浸漬した結果であり，前記で示した海洋暴露の試験体と比べ，強度や浸漬する塩分濃度による差はあるものの，**図-7**に示すPCa壁高欄の見掛けの拡散係数に関する相似曲線において，7.9年経過したときの見掛けの拡散係数は，おおむね$0.3\ \mathrm{cm^2}$/年となり，既往の論文[2)]と比較してもよい一致を示していることから，PCa壁高欄の見掛けの拡散係数曲線は，ある程度信頼性のある曲線であると考えられる．

4．普通コンクリートと高炉スラグ微粉末を混合したコンクリートの耐久性の評価

4－1　普通コンクリートの耐久性の評価

普通コンクリートの耐久性の評価については，土木学会式より計算した普通コンクリートの塩化物イオンの見掛けの拡散係数の特性値（$D_k=0.501\ \mathrm{cm^2}$/年）を基本として，そのときのかぶり70 mm位置の鉄筋に対し，100年で鉄筋が腐食発生限界濃度に達するときのコンクリート表面における塩化物イオン濃度（$\mathrm{kg/m^3}$）を耐久性を議論する一つの指標として，フィックの拡散方程式（式（1））から計算することとする．

（1）鋼材腐食発生限界濃度

「コンクリート標準示方書」によると，耐久設計で設定する普通ポルトランドセメントを用いた場合の鉄筋の鋼材腐食発生限界濃度（$\mathrm{kg/m^3}$）は，式（4）で計算してよいとしている．

$$C_{\mathrm{lim}}=-3.0(W/C)+3.4(0.3\leq W/C\leq 0.55) \qquad (4)$$

ここに，C_{lim}：鋼材腐食発生限界濃度（$\mathrm{kg/m^3}$），W/C：水セメント比（＝0.5）

水セメント比については，式（3）で用いた実績を考慮した値として0.5を用いる．

したがって，式（4）より，普通コンクリートの鋼材腐食発生限界濃度を計算すると，$C_{\mathrm{lim}}=1.9\ \mathrm{kg/m^3}$となる．

（2）経過年数100年時のコンクリート表面塩化物イオン濃度

普通コンクリートの100年耐久を検証するにあたって，経過年数100年におけるコンクリート表面の塩化物イオン濃度（C_0）がどの程度になるかをフィックの拡散方程

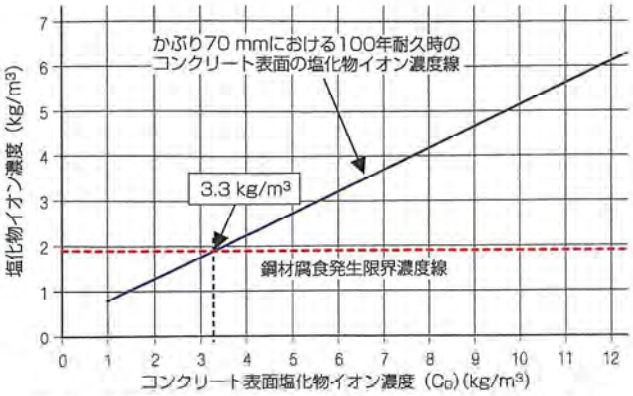


図-8　普通コンクリートの100年耐久時のコンクリート表面塩化物イオン濃度

式（式（1））より計算する．

計算方法は，ひび割れの無い普通コンクリートとし，計算された見掛けの拡散係数（$Dc=0.501\ \mathrm{cm^2}$/年（特性値を用いる））を有するコンクリートで，鉄筋かぶり70 mm位置において，100年で鋼材腐食発生限界濃度（$=1.9\ \mathrm{kg/m^3}$）に達する条件とする．また，この場合の初期塩化物イオン濃度を，$C_i=0.3\ \mathrm{kg/m^3}$）とする．

これらの条件を基に，式（1）のフィックの拡散方程式を用いてコンクリート表面塩化物イオン濃度を計算すると**図-8**のとおりとなる．

図-8より，経過年数100年におけるコンクリート表面の塩化物イオン濃度は，$C_0=3.3\ \mathrm{kg/m^3}$と計算される．

この経過年数100年におけるコンクリート表面の塩化物イオン濃度（$C_0=3.3\ \mathrm{kg/m^3}$）については，既往の研究結果[6]と比較しても，よく類似した結果になっている．

4－2　PCa壁高欄コンクリートの耐久性の評価

PCa壁高欄コンクリートの耐久性評価については，**4－1**で計算した経過年数100年における普通コンクリートの表面塩化物イオン濃度（$C_0=3.3\ \mathrm{kg/m^3}$）を一つの基本条件とする．

PCa壁高欄コンクリートと普通コンクリートでは，塩分の浸透履歴は異なるが，PCa壁高欄コンクリートにおいても，コンクリートの表面塩化物イオン濃度を$C_0=3.3\ \mathrm{kg/m^3}$と仮定して，PCa壁高欄に対し，ひび割れが無いとした場合の100年耐久の検証を行う．

この場合，PCa壁高欄に対して，見掛けの拡散係数とコンクリートかぶりを変数とし，式（1）のフィックの拡散方程式を用いて耐久性の評価を試みる．

（1）鋼材腐食発生限界濃度

PCa壁高欄コンクリートは，早強ポルトランドセメントを使用し，高炉スラグ微粉末4000を30%混合し，設計基準強度を40 N/mm²として配合したコンクリートである．

この場合のコンクリートの鋼材腐食発生限界濃度の計算については，「コンクリート標準示方書」によると，セメントの種類として，高炉セメントB種相当を用いた場合と早強ポルトランドセメントを用いた場合の2種類考えられる．

そこで，PCa壁高欄の配合と高炉セメントB種相当を用い配合した塩分浸透履歴の試験結果を比較してみる[5]．なお，高炉セメントを用いた場合の配合は，水セメント比が44%，スランプ8 cmで，設計基準強度は30 N/mm²である．

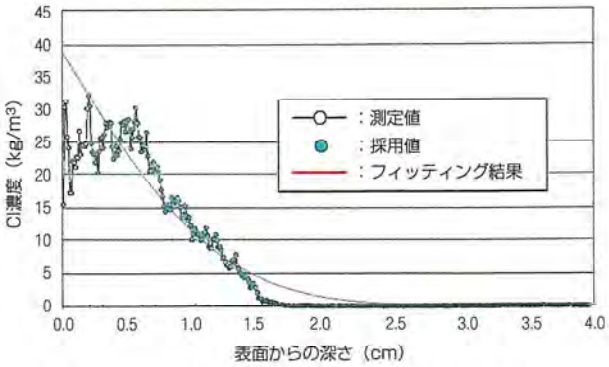


図-9　高炉セメントを用いたコンクリートのCl濃度分布

前述したEPMAによる0.498年間の浸漬結果の一例として，PCa壁高欄の塩分浸透履歴を**図-3**に示したが，高炉セメントを用いたコンクリートの塩分浸透履歴を**図-9**[5]に示す．

図-3のPCa壁高欄コンクリートと**図-9**の高炉セメントを用いたコンクリートの0.498年間の浸漬結果による塩分浸透履歴を比較すると，両者のフィッティング結果に伴う浸透履歴勾配に差が見られるものの，コンクリート表面のCl濃度やコンクリート表面からの浸透深さはよく類似しており，この結果から，PCa壁高欄コンクリートにおける鋼材腐食発生限界濃度の計算は，高炉セメントB種相当を用いたコンクリートとして，式（5）より計算することとした．

$$C_{\mathrm{lim}}=-2.6(W/C)+3.1\ (0.3\leq W/C\leq 0.55) \qquad (5)$$

ここに，C_{lim}：鋼材腐食発生限界濃度（kg/m³），W/C：水セメント比

PCa壁高欄コンクリートの場合，水セメント比は，**表-3**より40%であるため，式（5）より，PCa壁高欄コンクリートにおける鋼材腐食発生限界濃度を計算すると，$C_{\mathrm{lim}}=2.06\ \mathrm{kg/m^3}$となる．

（2）本壁高欄のかぶりに対する耐久性評価

ここで，本壁高欄の耐久性を評価するためには，通常，壁高欄に用いられている場所打ちの普通コンクリートの100年耐久における塩害環境との比較が重要となる．そのため，普通コンクリートの耐久性評価で計算した100年耐久としての表面塩化物イオン濃度（$C_0=3.3\ \mathrm{kg/m^3}$）を共通の指標としてPCa壁高欄コンクリートにも適用することとした．

そこで，**図-7**に示したPCa壁高欄の比較のための見掛けの拡散係数（$Dc=0.130\ \mathrm{cm^2}$/年）を基本として，この見掛けの拡散係数のばらつきを考慮し，また，既往の研究成果[3]も参考にし，$Dc=0.150\ \mathrm{m^2}$/年の場合と$Dc=0.200\ \mathrm{cm^2}$/年の3水準について，コンクリートかぶりと耐久年数の関係をグラフ化した．

結果を**図-10**に示す．

図-10より，普通コンクリートのかぶり70 mmに対

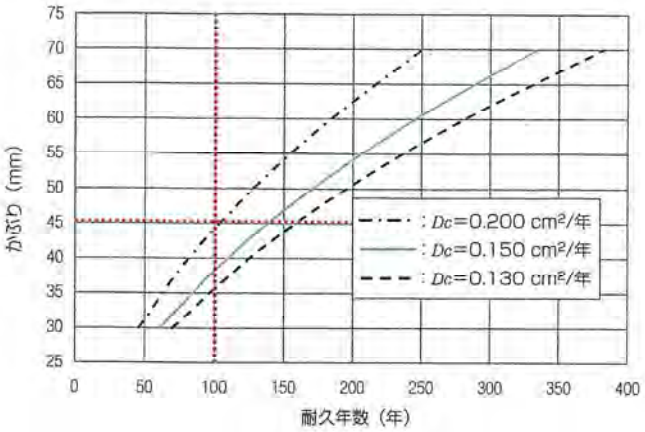


図-10　PCa壁高欄コンクリートの耐久性

して100年耐久となるコンクリート表面の塩化物イオン濃度（C_0=3.3 kg/m^3）をPCa壁高欄コンクリートに適用した結果，PCa壁高欄コンクリートの見掛けの拡散係数を大きめ（Dc=0.200 cm^2/年）に考えても，かぶり45 mmを確保すれば100年耐久を確保でき，さらに，PCa壁高欄は，工場製作のプレキャストコンクリートであることを考えれば，鉄筋かぶりに対する施工誤差も小さく管理でき，密実なコンクリートが打設できること，ひび割れも入りづらいという品質向上の要因を加味すれば，場所打ちの普通コンクリートに比べ，遮塩性に対する耐久性能は著しく向上すると考えられる．

5．まとめ

本報告では，凍結防止剤が散布される高速道路の環境において，普通ポルトランドセメントを用いた設計基準強度30 N/mm^{2}のコンクリート壁高欄と早強ポルトランドセメントをベースとして高炉スラグ微粉末4000を30%混合した設計基準強度40 N/mm^{2}のプレキャスト壁高欄について，「コンクリート標準示方書」に準じ，フィックの拡散方程式を用いて，コンクリートかぶりに対する100年耐久の検証を行った．

両者とも，100年耐久としてのコンクリート表面塩化物イオン濃度を統一するといった仮定を設けたが，結果として，早強ポルトランドセメントに高炉スラグ微粉末4000以上を30%以上混合したプレキャスト壁高欄では，100年耐久を考えた場合には，普通ポルトランドセメントを用いた壁高欄よりコンクリートかぶりを小さくできることが確認でき，少なくとも50 mm以上確保すればよいことが分かった．

コンクリートかぶりを小さくできれば，衝突荷重を受ける壁高欄にとって，構造的に有利となる．

最後に，本報告をまとめるにあたって，東京工業大学環境・社会理工学院の岩波光保教授に多大なる助言をいただきましたこと，誌面をお借りして感謝します．

〔参考文献〕

1）DAK式プレキャスト壁高欄「設計・施工ガイドライン《改訂版》」，DAK式プレキャスト壁高欄工法研究会（1989.9）
2）与那嶺一秀，山路　徹，加藤絵万，川端雄一郎：長期海洋暴露試験および実構造物調査に基づくコンクリートの塩化物イオン拡散性状に関する検討，港湾空港技術研究所資料，No.1339（2018.3）
3）酒井秀昭：凍結防止剤散布地域の橋梁壁高欄の塩化物イオン濃度の予測方法に関する研究，土木学会論文集E，Vol. 66, No. 3, pp. 268～275（2010.7）
4）青木圭一，上平謙二，神崎隆男，田中嘉一，高木絹華，田村辰也：急速施工と高耐久性を目指した新たなプレキャスト壁高欄の開発と衝突安全性について，橋梁と基礎，pp. 45～61（2013.3）
5）コンクリートの遮塩性試験報告書，(株) デイ・シイ　技術資料（2013.5）
6）丸屋　剛，下村　匠，石田哲也，岩波充保，長井宏平：土木学会「2012制定コンクリート標準示方書［設計編］の塩害照査に関する改訂資料，コンクリート工学・テクニカルレポート，Vol. 52, No. 6, pp. 510～518（2014.6）

高炉スラグ微粉末を混入したプレキャスト壁高欄の塩害に対する耐久性について

開発虎ノ門コンサルタント(株)　フェロー会員　○上平　謙二
中日本高速道路（株）　正会員　青木　圭一

１．目　的

積雪寒冷地に建設された高速道路橋においては，NaCl を主とする凍結防止剤が散布されるため，これまでに施工された剛性防護柵（コンクリート製壁高欄）（以下，壁高欄という）には，塩分がコンクリート表面から浸透することによる鉄筋の発錆やコンクリートのひび割れが散見されている．しかしながら，壁高欄に付着する凍結防止剤による塩分濃度の状況を含めた耐久性に関する知見は少なく，コンクリートの表面塩分濃度と，その耐久性の相関性についての具体的な報告はほとんど見受けられない．

そこで，本報告では，コンクリート標準示方書「土木学会，2017 年制定」（以下，コンクリート標準示方書という）に準拠し，フィックの拡散方程式を用いて，高炉スラグ微粉末を混合したプレキャスト壁高欄の耐久性ついて，コンクリート表面の塩化物イオン濃度とコンクリートかぶりの関係を整理したので、その内容を報告する．

２．対象とした高炉スラブ混入壁高欄コンクリートの物性

対象としたスラグ混入壁高欄コンクリートは，設計基準強度：40 N/mm^2，コンクリートの目標スランプ：21 cm，水セメント比：40 %，空気量：4.5 %であり，セメントには，早強ポルトランドセメントを使用し，高炉スラグ微粉末 4000 を 30 %混合している．本壁高欄コンクリートの配合を**表−1** に示す．

表−1　コンクリートの配合

コンクリートの種類	W/C (%)	単位量（kg/m^3）					
		W	H	BF	S	G	Ad
40-21-25 (H4000B-30%)	40	170	298	128	783	915	3.84

注）Ad：ポリカルボン酸エーテル系の高性能 AE 減水剤

３．スラグ混入壁高欄コンクリートの見掛けの拡散係数

表−1 に示したコンクリート配合で製作されたφ100 × 200 mm の円柱供試体を用い，電子線マイクロアナライザー（EPMA）による面分析結果（JSCE-G574「EPMA 法によるコンクリート中の元素の面分析方法」に従い実施した結果）と普通コンクリートを用いた壁高欄の塩分調査から、本スラグ混入壁高欄コンクリートの見掛けの拡散係数は，Dc＝0.13cm^2/年と想定される事が分かっている[1) 2)]．

４．スラグ混入壁高欄コンクリートのかぶり別耐久性の評価

本スラグ混入壁高欄の塩害に対する耐久性評価については，**式−1** に示すフィックの拡散方程式を用いた．

$$C(x,t)=C_0\left\{1-erf\left(\frac{0.1\cdot x}{2\sqrt{D_c\cdot t}}\right)\right\}+C_i \qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \text{式−1}$$

ここに，$C(x,t)$：コンクリート表面からの距離 x における塩化物イオン濃度(kg/m^3)，x：コンクリート表面からの距離(mm)，t：経過年数(年)，C_0：コンクリート表面における塩化物イオン濃度(kg/m^3)，erf：誤差関数，Dc：コンクリートの塩化物イオンに対する見掛けの拡散係数(cm^2/年)，Ci：初期塩化物イオン濃度(kg/m^3)

なお，本スラグ混入壁高欄の耐久性評価については，コンクリート表面の塩化物イオン濃度とコンクリートかぶりをパラメータとして検討することとするが，本壁高欄コンクリートの見掛けの拡散係数については，上記の Dc＝0.13cm^2/年を基本として，この見掛けの拡散係数のばらつきなどを考慮し，また，既往の研究成果[3)]も参考にして，Dc＝0.15 m^2/年の場合と Dc＝0.20 cm^2/年の 3 水準について評価することとした．また，Ci＝0.3kg/m^3 とした．

なお，鋼材腐食発生限界濃度の計算においては，本スラグ混入壁高欄コンクリートと高炉セメント B 種相

キーワード：塩害，剛性防護柵，高炉スラグ微粉末，コンクリートかぶり，耐久性
連絡先：〒170−0005　東京都豊島区南大塚 3−20−6　開発虎ノ門コンサルタント（株）　ＴＥＬ：03−3985−5497

© Japan Society of Civil Engineers

当を用いたコンクリートとの塩分浸透履歴を比較した結果，高炉セメントB種相当を用いたコンクリートと類似することから，高炉セメントB種相当を用いたコンクリートとして，**式-2** を用いて計算した[2]．

$$C_{lim} = -2.6\,(W/C) + 3.1 \quad (0.3 \leq W/C \leq 0.55) \qquad \text{式-2}$$

ここに，C_{lim}：鋼材腐食発生限界濃度（kg/m³），W/C：水セメント比．

また，コンクリート表面における塩化物イオン濃度（C_0）については，既往の論文から[4]，想定塩化物イオン濃度として，20年前後の経過年数に対して，概ね，5.04kg/m³～7.15kg/m³ と報告されていることから，3.0kg/m³，4.0kg/m³，5.0kg/m³，6.0kg/m³ 及び 7.0kg/m³ の5水準を設定した．

５．耐久性評価結果

スラグ混入壁高欄コンクリートの見掛けの拡散係数に対する耐久性評価結果として，Dc＝0.13cm²/年の場合を**図-1** に，Dc＝0.15 m²/年の場合を**図-2** に、Dc＝0.20 cm²/年の場合を**図-3** にそれぞれ示す．

高炉スラグ微粉末4000を30％混合した設計基準強度40 N/mm² のプレキャスト壁高欄では，見掛けの拡散係数において，塩分浸透が試験結果より，より浸透すると想定した厳しい条件の場合の見掛けの拡散係数（Dc＝0.20 cm²/年）でも，例えば，コンクリートかぶり50mmでは，100年耐久を満足するためのコンクリート表面の塩化物イオン濃度は，概ね，C_0＝3.5 kg/m³ 程度まで許容でき，コンクリートかぶり60mmでは，C_0＝4.5 kg/m³ 程度まで，また，コンクリートかぶり70mmでは，C_0＝6.0 kg/m³ まで許容できる結果となった．

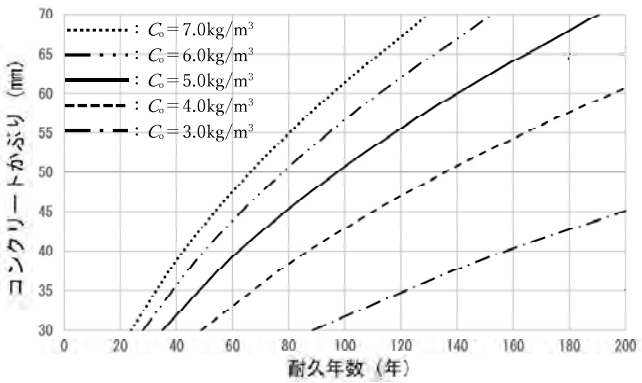


図-1　見掛けの拡散係数 Dc＝ 0.13cm²/年の場合

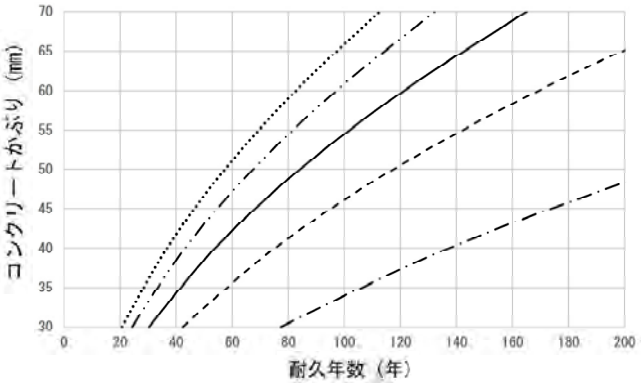


図-2　見掛けの拡散係数 Dc＝ 0.15cm²/年の場合

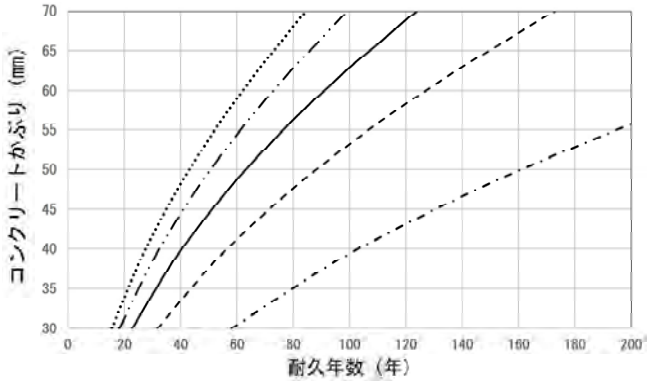


図-3　見掛けの拡散係数 Dc＝ 0.20cm²/年の場合

６．まとめ

冬期の融雪剤の散布環境に応じて，コンクリートの表面塩化物イオン濃度が想定できれば，その環境下でのスラグ混入壁高欄の塩害に対する 100 年耐久に関し，必要コンクリートかぶりを検討できる有用なデータが得られた．

最後に，本報告を纏めるにあたり，東京工業大学 環境・社会理工学院の岩波光保教授に多大なる助言を頂きましたこと，紙面をお借りして感謝します．

参考文献

1) DAK 式プレキャスト壁高欄「設計・施工ガイドライン〔改訂版〕，DAK 式プレキャスト壁高欄工法研究会（2019年９月）
2) 上平謙二，青木圭一，二戸信和：塩害を受ける剛性防護柵のコンクリートかぶりに対する耐久性評価，橋梁と基礎，Vol.55，No.4（2021年４月）
3) 与那嶺一秀，山路　徹，加藤絵万，川端雄一郎：長期海洋暴露試験および実構造物調査に基づくコンクリートの塩化物イオン拡散性状に関する検討，港湾空港技術研究所資料，No.1339（2018年３月）
4) 酒井秀昭：凍結防止剤散布地域の橋梁壁高欄の塩化物イオン濃度の予測方法に関する研究，土木学会論文集 E，Vol.66，No.3，pp.268～275（2010年７月）

© Japan Society of Civil Engineers

高炉スラグ微粉末の有無によるコンクリート製壁高欄の塩害に対する耐久性の比較について

開発虎ノ門コンサルタント(株)　フェロー会員　○上平　謙二
中日本高速道路（株）　正会員　青木　圭一
（株）デイ・シイ　蝦名　貴之
開発虎ノ門コンサルタント（株）　西本　英生

１．目　的

積雪寒冷地に建設される高速道路橋では，剛性防護柵（コンクリート製壁高欄）（以下，壁高欄という）は，既往の研究で，高炉スラグ微粉末（以下，スラグという）を混入することで，塩化物イオンの侵入に伴う鋼材腐食に対する耐久性を改善できるとの報告がある[1),2),3)].

本報告では，コンクリート標準示方書「土木学会，2017 年制定」（以下，コン示という）に準拠し，フィックの拡散方程式を基本として，早強ポルトランドセメント（以下，早強セメントという）にスラグを混入したプレキャスト壁高欄（以下，PCa 壁高欄という），普通ポルトランドセメント（以下，普通セメントという）を用いた場所打ち壁高欄及び早強セメントを用いた PCa 壁高欄における塩化物イオンの侵入に関する計算を行い，また，鉄筋にエポキシ樹脂塗装鉄筋（以下，エポ筋という）を用いたそれぞれの壁高欄についても塩化物イオンの侵入に関する計算を行い，スラグの有無による耐久性の違いを比較したので，その内容を報告する．

２．対象とした各壁高欄の物性

スラグを混入した PCa 壁高欄は，設計基準強度：40 N/mm^2，コンクリートの目標スランプ：21 cm，水セメント比：40 %，空気量：4.5 %であり，セメントは，早強セメントを使用し，スラグ 4000 を 30 %混合している．本 PCa 壁高欄コンクリートの配合を**表-1** に示す．また，普通セメントを用いた場所打ち壁高欄コンクリートは，設計基準強度：30 N/mm^2，水セメント比：50 %とし，早強セメントを用いた PCa 壁高欄コンクリートは，設計基準強度：40 N/mm^2，水セメント比：40 %と設定した．

表-1　スラグを混入したコンクリートの配合

コンクリートの種類	W/C (%)	単位量(kg/m^3)					
		W	H	BF	S	G	Ad
40-21-25 (H4000B-30%)	40	170	298	128	783	915	3.84

注）Ad：ポリカルボン酸エーテル系の高性能 AE 減水剤

３．普通鉄筋を用いた場合の耐久設計の方法

コン示に準じ，塩化物イオンの侵入に伴う鋼材腐食に対する照査は，**式-1** によった．

$$\gamma_i \frac{C_d}{C_{lim}} \leq 1.0 \qquad \cdots\cdots \quad \text{式-1}$$

ここに，γ_iは構造物係数で、ここでは、鉄筋の発錆に伴う壁高欄の安全性を考慮して 1.1 を採用[4)]，C_dは鋼材位置における塩化物イオン濃度の設計値(kg/m^3)，C_{lim}は耐久設計で設定する鋼材腐食発生限界濃度(kg/m^3)である．また，鋼材位置における塩化物イオン濃度の設計値の計算は、コン示に準じ，**式-2** によった．

$$C_d = \gamma_{cl} \cdot C_0 \left(1 - erf\left(\frac{0.1 \cdot c_d}{2\sqrt{D_d \cdot t}} \right) \right) + C_i \qquad \cdots\cdots \quad \text{式-2}$$

ここに，γ_{cl}は鋼材位置における塩化物イオン濃度の設計値(C_d)のばらつきを考慮した安全係数で 1.3 とし，C_0はコンクリート表面における塩化物イオン濃度(kg/m^3)，c_dは耐久性に関する照査に用いるかぶりの設計値(mm)，D_dは塩化物イオンに対する設計拡散係数(cm^2/年)，t は塩化物イオンの侵入に対する耐用年数(年)で 100 年と設定，C_iは初期塩化物イオン濃度(kg/m^3)で 0.3 kg/m^3 と設定，erfは誤差関数である．

４．エポ筋を用いた場合の耐久設計の方法

エポ筋を使用した鋼材位置における塩化物イオン濃度の設計値の計算は，**式-3** によった．

ここに，**式-2** 以外で，C_{ep}はエポキシ樹脂塗装の厚さの期待値(mm)で 220μm と設定[4),5)]，D_{epd}はエポキシ

キーワード：剛性防護柵，高炉スラグ微粉末，遮塩性、コンクリートかぶり，耐久設計
連絡先：〒170-0005　東京都豊島区南大塚 3-20-6　開発虎ノ門コンサルタント（株）　ＴＥＬ：03-3985-5497

$$C_d = \gamma_{cl} \cdot C_0 \left(1 - erf\left(\frac{0.1}{2\sqrt{t}} \left(\frac{C_d}{\sqrt{D_d}} + \frac{C_{ep}}{\sqrt{D_{epd}}} \right) \right) \right) + C_i \quad \cdots\cdots\cdots\cdots \text{式-3}$$

樹脂塗装内への塩化物イオンの侵入を拡散現象とみなした場合の塩化物イオンに対する見掛けの拡散係数の設計用値(cm²/年)で 2.0×10⁻⁶ cm²/年と設定[4),5)].

５．耐久設計の各設計用値

各壁高欄コンクリートの耐久設計のための設計用値を整理すると，**表-2** の通りとなる．

表-2　各壁高欄コンクリートの耐久設計のための設計用値

壁高欄コンクリートの種類	W/C	γ_i	C_{lim} (kg/m³)	γ_{cl}	C_d (mm)	D_d (cm²/年)	t (年)	C_{ep} (μm)	D_{epd} (cm²/年)
早強セメント+高炉スラグ使用 PCa 壁高欄	0.4	1.1	2.06	1.3	5	0.130	100	220	2×10^{-6}
普通セメント使用場所打ち壁高欄	0.5	1.1	1.90	1.3	10	0.501	100	220	2×10^{-6}
早強セメント使用 PCa 壁高欄	0.4	1.1	2.20	1.3	5	0.251	100	220	2×10^{-6}

ここで，鋼材腐食発生限界濃度(C_{lim})の計算については，コン示に準じ，早強セメントにスラグを混入した PCa 壁高欄コンクリートは、高炉セメントを用いた式で計算し[2)]，普通セメントを用いた場所打ち壁高欄コンクリートと早強セメントを用いた PCa 壁高欄コンクリートは，それぞれ普通セメントを用いた式で計算したが，それらの値は，水セメント比の影響が大きいことが分かる．かぶりの設計値(c_d)は，NEXCO の規定に準じた[1),4)]．また，塩化物イオンに対する設計拡散係数(D_d)について，スラグ混入コンクリートは，既往の報告に準じ[2)]，普通セメント及び早強セメントを用いた場合は，コン示に準じて普通セメントを使用したコンクリートの式で計算した．C_{ep} と D_{epd} の値は，既往の報告に準じた[4),5)]．

６．耐久設計結果及び考察

表-2 の設計用値を用い，**式-2** 及び**式-3** で計算した各壁高欄の耐久設計の結果を**図-1** 及び**図-2** に示す．

図-1 の各壁高欄の 100 年耐久性が確保されるコンクリート表面の塩化物イオン濃度の限界値の結果では，スラグ混入の壁高欄は，普通セメントを使用した場所打ち壁高欄に比べ，高い耐久性を示し，また，早強セメントを使用した PCa 壁高欄のかぶり 70mm の結果と比べても高い耐久性を示している．一方，**図-2** に普通セメントを使用した場所打ち壁高欄での普通鉄筋及びエポ筋を用いた場合の結果を示したが，コンクリート表面の塩化物イオン濃度次第では，エポ筋を使用しても 100 年耐久性を満足しない場合がある結果を得た．因みに，スラグ混入壁高欄では，コンクリートかぶり 50mm におけるエポ筋使用限界は，コンクリート表面塩化物イオン濃度で 20kg/m³ を超える結果であった．

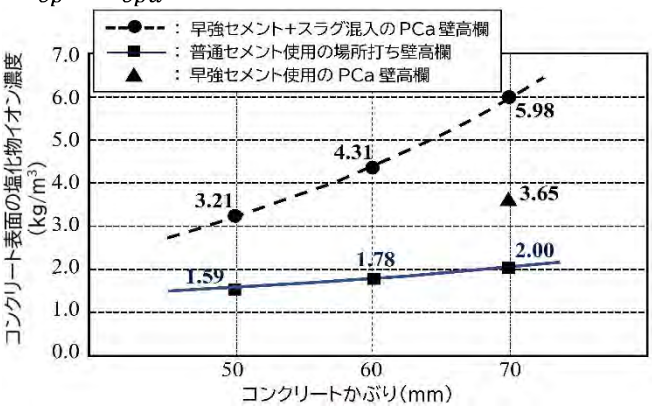


図-1　各壁高欄の 100 年耐久性の比較

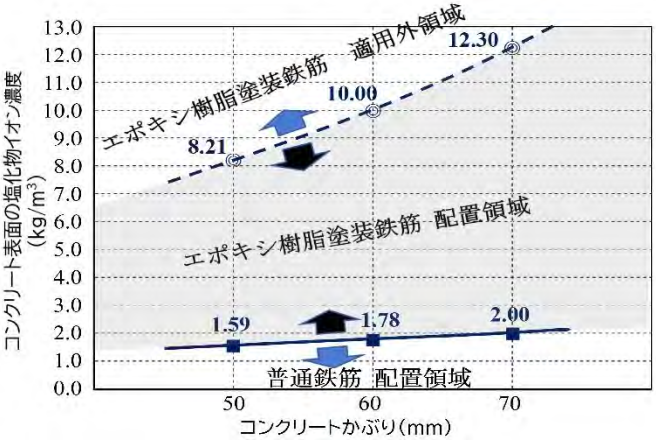


図-2　場所打ち壁高欄の 100 年耐久性の比較

最後に，本報告を纏めるにあたり，東京工業大学 環境・社会理工学院の岩波光保教授に多大なる助言を頂きましたこと，紙面をお借りして感謝します．

参考文献

1) DAK 式プレキャスト壁高欄「設計・施工ガイドライン〔改訂　版〕，DAK 式プレキャスト壁高欄工法研究会（2019 年 9 月）
2) 上平謙二，青木圭一，二戸信和：塩害を受ける剛性防護柵のコンクリートかぶりに対する耐久性評価，「橋梁と基礎」Vol. 55, No. 4, pp. 47～52（2021 年 4 月）
3) 上平謙二，青木圭一：高炉スラグ微粉末を混入したプレキャスト壁高欄の塩害に対する耐久性について，土木学会全国大会第 76 回年次学術講演会，V-371（2021 年 9 月）
4) 中日本高速道路株式会社：壁高欄の塩害に対する耐久性照査方法(案)（平成 29 年 4 月）
5) 土木学会：エポキシ樹脂塗装鉄筋を用いる鉄筋コンクリートの設計施工指針「改訂版」，コンクリートライブラリー第 112 号，pp. 10～16（2003 年 11 月）

〖 DAK 式壁高欄に関する報告や論文一覧 〗

DAK 式壁高欄の情報に関する外部発表した報告、論文（年代順）は、以下の通りである。

① 青木圭一，上平謙二，田中嘉一，高木絹華：プレキャスト壁高欄の新たな接合工法の開発，第 9 回 複合・合成構造の活用に関するシンポジウム論文集，2012 年 10 月，土木学会

② 青木圭一，上平謙二，神崎隆男，田中嘉一，田中絹華，田村辰也：急速施工と高耐久性を目指した新たなプレキャスト壁高欄の開発と衝突安全性能について，橋梁と基礎 3 月号，2013 年 3 月

③ 真田 修，倉田朋和，佐藤徹也，竹沢正文，北川 学，黒木 武：用宗高架橋（下り線）の床版取替え工事，橋梁と基礎，2017 年 1 月

④ 黒木 武，北川 学，真田 修，倉田朋和：東名高速道路 用宗高架橋（下り線）の床版取替え工事，プレストレストコンクリート，Vol.59，No.2，2017 年 3 月-4 月

⑤ 藤原 了，北川陽介，蝦名貴之，藤原浩巳：高炉スラグ超微粉末を用いたモルタル注入材料の開発と実部材への適用，「第 28 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集」，2019 年 11 月

⑥ 菊池亜希子，今井平佳，篠崎英二，北村元：秋山高架橋の詳細設計における工程短縮への取り組み，「第 28 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集」，2019 年 11 月

⑦ 大嶋秀明，遠野利之，寺田聡，菊池亜希子，矢野英二，三上大治郎：新東名高速道路 秋山高架橋の施工，「川田技報」，2020 年 1 月

⑧ 上平謙二：「高速道路の大規模更新等に使われる「DAK 式プレキャスト壁高欄」の技術変遷」，報文，道路構造物ジャーナル NET・連載，2020 年 1 月 31 日

⑨ 北川学，橋本大志，田村和弘：東北自動車道 迫川橋床版取替工事の施工，「第 29 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集」，2020 年 10 月

⑩ 上平謙二，青木圭一，二戸信和：塩害を受ける剛性防護柵のコンクリートかぶりに対する耐久性評価，「橋梁と基礎」4 月号，2021 年 4 月

⑪ 山口岳思，北村 元，大嶋秀明，篠崎英二，長谷川 剛，吉滿龍彦：リブ付き床版の合理化に向けた取り組み　－新東名高速道路 秋山高架橋－，「橋梁と基礎」7 月号，2021 年 7 月

⑫　上平謙二，青木圭一：高炉スラグ微粉末を混入したプレキャスト壁高欄の塩害に対する耐久性について，土木学会第 76 回年次学術講演会，第 V 部門，耐久性一般(2)，V-371，2021 年 9 月

⑬　上平謙二，青木圭一、蝦名貴之、西本英生：高炉スラグ微粉末の有無によるコンクリート製壁高欄の塩害に対する耐久性の比較について，土木学会第 77 回年次学術講演会，第 V 部門，2022 年 9 月発表予定

以上

【問合せ窓口】

・DAK 式プレキャスト壁高欄　工法研究会　技術委員会
TEL　：03（3985）5075　FAX：03（3985）5901
E-mail：dak-mail@kckk.co.jp

・DAK 式プレキャスト壁高欄　工法研究会　事務局
TEL　：044（223）4753　FAX：044（223）4759
E-mail：techcenter@dccorp.jp
URL　：http://www.dak-pc.org/

※無断転載・複製を禁ずる。

D A K