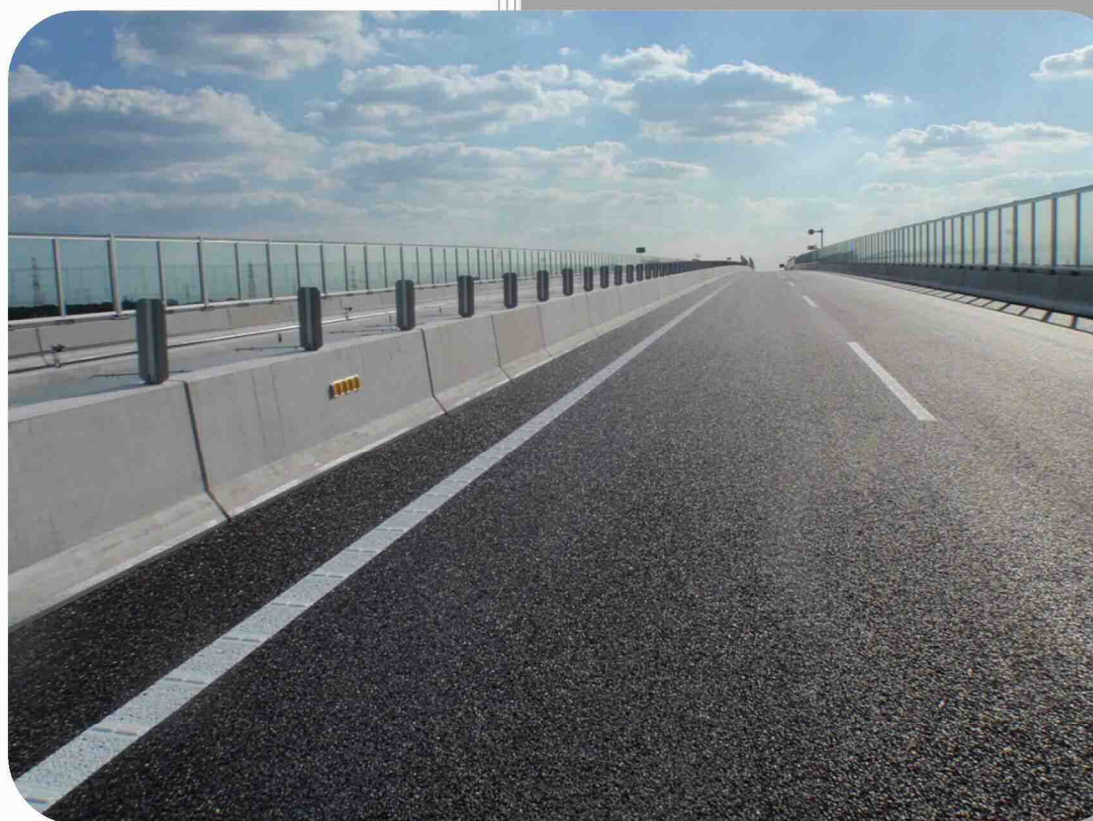


DAK 式プレキャスト壁高欄 「設計・施工ガイドライン」

〔改訂版〕



令和元年 9 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
第 1 版	平成 29 年 3 月	初版発行
第 2 版	令和元年 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 式プレキャスト壁高欄の標準化の方向性

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

【Revise-Edition】

September 2019

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）の現「設計・施工ガイドライン」は、平成 29 年 3 月に初刊を発刊し、3 年を経て、お陰様で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」も制定され、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ことから、更に分かり易く、内容を充実して改定版を発刊するに至りました。

今後、NEXCO 管轄の橋梁の更新工事が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 式壁高欄の構造的あるいは材料的特徴や優位性をご理解頂き、採用に向けて検討頂くために、初刊の「設計・施工ガイドライン」を更にバージョンアップして、分かり易く、かつ、計画に必要と思われる種々な情報を盛り込みました。

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、新たに章立てし、構造的な特長と材料的な特長及び優位性を明確に説明しています。

第 3 章では、「設計」として、初刊の「設計・施工ガイドライン」より分かり易くするため、DAK 式壁高欄を性能別、つまり耐久性能、安全性能及び使用性能に分け、それぞれ耐久性の照査、安全性の照査及び使用性の照査の具体的な方法を詳細に記述しています。

耐久性の照査では、DAK 式壁高欄の材料的特長である高炉スラグ微粉末混入による遮塩性向上に対する耐久性の評価を具体的な計算結果を基に説明しています。

安全性の照査では、前述したように、NEXCO から剛性壁高欄の衝突安全性に関する「試験法 441」が制定されましたので、DAK 式壁高欄も、この試験法により衝突安全性を確認できましたことから、その照査方法や試験結果まで具体的に説明しています。

また、使用性の照査では、設計衝突荷重による DAK 式壁高欄の部材の具体的な設計方法や、橋軸方向の接合方法である PBL 鋼板（孔あき鋼板ジベル）を用いたジベルの設計方法、PBL 鋼板周りの補強鉄筋の設計方法など、DAK 式壁高欄の構造特有の設計方法を、構造細目を含め、具体的に分かり易く説明しています。

第 4 章では、「プレキャスト壁高欄の製作」として、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、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、初刊の「設計・施工ガイドライン」とは構成は変えず、より分かり易くするため、写真を入れかえたり、追加したり、また、文章を少し修正するなど、編集を加えています。

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ろし及び建込み、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、接合モルタルの施工、養生及び型枠撤去まで、初刊の「設計・施工ガイドライン」とは構成は変えず、より分かり易くするため、写真を入れかえたり、追加したり、また、文章を少し修正するなど、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比較しています。

DAK 式壁高欄については、実績も多くなったことから、初刊の「設計・施工ガイドライン」の工程表を見直し、一方、場所打ち壁高欄では、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に的を絞り、更なる現場施工の省力化及び耐久性向上に向け、今後の DAK 式壁高欄の標準化を目指した方法を説明しています。

巻末には、【参考資料】として、DAK 式壁高欄に関する発表論文を掲載しています。

なお、初刊の「設計・施工ガイドライン」に参考資料として掲載していました「各種床版との接合方法」や「Q&A」等につきましては、実績が多くなったことを受けまして、割愛させて頂きました。

DAK 式壁高欄につきまして、ご質問のある方は、DAK 式壁高欄 事務局にご相談ください。

以上の内容をもちまして、初刊を改定させて頂きました。

今後の老朽化した社会インフラの更新事業等の計画に十分資する内容に改定されたと思っています。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の皆様に感謝致します。

令和元年 9 月

DAK 式プレキャスト壁高欄 工法研究会
設計・施工ガイドライン改定 WG
委員長 上 平 謙 二

DAK式プレキャスト壁高欄 工法研究会

名 簿 (敬称略・順不同)

特別会員	株式会社 デイ・シイ
〃	開発虎ノ門コンサルタント株式会社
〃	江波工業株式会社
〃	ドーピー建設工業株式会社
正会員	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
〃	オリエンタル白石株式会社
〃	川田建設株式会社
〃	極東興和株式会社
〃	昭和コンクリート工業株式会社
〃	株式会社 富士ピー・エス
準正会員	デイシイ販売株式会社
〃	株式会社 ノナガセ

DAK式プレキャスト壁高欄 設計・施工ガイドライン改訂WG

WG 名 簿 (敬称略・五十音順)

委員長	上平 謙二	開発虎ノ門コンサルタント株式会社
副委員長	白鳥 愛介	開発虎ノ門コンサルタント株式会社

委 員	蝦名 貴之	株式会社 デイ・シイ
〃	小黒 祐史	デイシイ販売株式会社
〃	肥塚 秀明	ドーピー建設工業株式会社
〃	小宮 岳枝	株式会社 デイ・シイ
〃	齋藤 幸治	オリエンタル白石株式会社
〃	柴田 和典	昭和コンクリート工業株式会社
〃	鈴木 健吾	株式会社 ノナガセ
〃	田村 辰也	江波工業株式会社
〃	中村 定明	株式会社 IHIインフラ建設
〃	中山 良直	川田建設株式会社
〃	別府 敏夫	開発虎ノ門コンサルタント株式会社
〃	松井 敏二	ドーピー建設工業株式会社
〃	宮島 朗	株式会社 安部日鋼工業
〃	山口 光俊	株式会社 富士ピー・エス

目 次

第1章 総 則	1
1.1 適用の範囲	1
1.2 用語の定義	1
第2章 DAK 式壁高欄の特長	2
2.1 構造的長	2
2.2 材料的長	4
第3章 設 計	5
3.1 設計の基本事項	5
3.1.1 設計の基本方針	5
3.1.2 性能照査方針	5
3.2 材料の設計値	5
3.2.1 コンクリート	6
3.2.2 鉄筋、孔あき鋼板 (PBL)、フランジプレート及び縞鋼板	6
3.2.3 接合モルタル	6
3.3 作 用	7
3.3.1 作用の種類	7
3.3.2 作用の組合せ	7
3.4 応答値の算定	8
3.4.1 作用のモデル化	8
3.4.2 設計応答値の算定	10
3.5 限界値	12
3.5.1 限界値の基本	12
3.5.2 応力度の制限値の割増係数	12
3.5.3 応力度の限界値	12
3.6 性能照査	13
3.6.1 性能照査方針	13
3.6.2 耐久性の照査	13
3.6.3 安全性の照査	20
3.6.4 使用性の照査	24
3.7 構造細目	42
3.7.1 標準的な配筋要領	42
3.7.2 プレキャスト壁高欄部材の形状	42
3.7.3 コンクリート床版とプレキャスト壁高欄の接合	44
3.7.4 孔あき鋼板ジベルの構造・寸法	45

3. 7. 5	PBL 鋼板付け根の溶接の寸法	46
3. 7. 6	PBL 鋼板周りの補強鉄筋の配置	46
3. 7. 7	プレキャスト壁高欄同士の接合	48
3. 7. 8	プレキャスト壁高欄の縦断線形に対する配置	48
3. 7. 9	プレキャスト壁高欄と場所打ち壁高欄の接合	49
3. 7. 10	通信管路の配置	49
3. 8	プレキャスト壁高欄の割付け	50
3. 8. 1	DAK 式壁高欄のブロック長	50
3. 8. 2	橋梁支点上及び端部の割付け方法	50
3. 8. 3	場所打ち部を有する割付け方法	51
第 4 章	プレキャスト壁高欄の製作	52
4. 1	型枠の製作	52
4. 1. 1	型枠の計画	52
4. 1. 2	隅角部の面取り	53
4. 2	鉄筋と型枠の組立て	53
4. 2. 1	鉄筋ユニットの組立て	53
4. 2. 2	配筋の許容誤差	54
4. 2. 3	付属物の取付け	54
4. 2. 4	型枠の組立て	54
4. 3	コンクリートの品質と配合	55
4. 3. 1	品 質	55
4. 3. 2	示方配合	55
4. 4	コンクリートの打込み及び養生	56
4. 4. 1	コンクリートの打込み	56
4. 4. 2	コンクリートの養生	56
4. 5	製品の取出し及び接合部の処理	56
4. 5. 1	製品の取出し	56
4. 5. 2	小口面及び打継ぎ面の処理	57
4. 6	仮置き保管	57
4. 6. 1	仮置き保管	57
4. 6. 2	露出鋼材の防錆	57
4. 7	出来形管理	58
4. 8	運搬、搬出	58
第 5 章	施 工	59
5. 1	準備工	59

5.1.1	現地の確認	59
5.1.2	プレキャスト壁高欄の搬入計画	59
5.2	プレキャスト壁高欄の荷下し及び建込み	59
5.2.1	プレキャスト壁高欄の荷下し	59
5.2.2	プレキャスト壁高欄の建込み	60
5.2.3	高さ調整及び仮固定	61
5.3	接合モルタルの使用材料及び試験練り	62
5.3.1	使用材料	62
5.3.2	試験練り	63
5.4	接合部の型枠設置	63
5.5	モルタル材の仮置き及び本練り	64
5.5.1	モルタル材の仮置き	64
5.5.2	モルタル材の本練り	64
5.6	モルタル材の充填	65
5.6.1	モルタル材を圧入する方法	65
5.6.2	モルタル材を流下する方法	66
5.7	養生	66
5.8	モルタル材の型枠脱型、後片付け、完成	66
第 6 章	標準施工工程	67
6.1	標準施工工程算出の基本条件	67
6.2	標準施工工程の算出条件	68
6.3	標準施工工程の比較	68
6.3.1	DAK 式壁高欄の標準施工工程	68
6.3.2	場所打ち壁高欄の標準施工工程	69
6.4	標準施工工程に関する考察	69
第 7 章	DAK 式壁高欄の標準化	70
7.1	標準化の方針	70
7.2	標準化に向けた具体対策	70
7.2.1	DAK 式壁高欄の形状及び構造	70
7.2.2	露出鋼材の防錆方法	72
7.2.3	施工方法	72
【参考資料】		
	DAK 式壁高欄に関する発表論文	74

第1章 総 則

1.1 適用の範囲

DAK 式プレキャスト壁高欄（以下、DAK 式壁高欄という）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 タイプ及び SS タイプに適用可能である。

また、構造的観点から、床版とプレキャスト壁高欄との接合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 DAK 式壁高欄が適用可能である。

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 PCa・PC 床版を用いた床版取替の更新工事等への対応に有効である。

また、DAK 式壁高欄は、高炉スラグ微粉末を混入しており、遮塩性に対する耐久性向上策として、特に融雪剤を使用する地域や、海に近く遮塩性を求められる地域に特に有効である。

1.2 用語の定義

本ガイドラインでは、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の名称をいう。 |
| 接合モルタル | ： プレキャスト壁高欄と床版とを接合一体化するために充填される高耐久なモルタルをいう。 |
| DAK 式壁高欄システム | ： 高炉スラグ微粉末を混入したプレキャスト壁高欄本体と床版との接合モルタルを含めた全体のシステムという。 |
| 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ジベルを有する鋼板をいう。 |
| 孔あき鋼板ジベル | ： PBL 鋼板に開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。 |
| ループ鉄筋 | ： プレキャスト壁高欄側及び床版側から突出配置されたループ状の鉄筋をいう。 |
| ループ鉄筋継手 | ： プレキャスト壁高欄側及び床版側から突出配置されたループ鉄筋を上下にラップさせた継手をいう。 |
| 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。 |
| 耐久性 | ： 高炉スラグ微粉末を混入した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 構造的特长

DAK 式壁高欄の構造的特长は、以下の通りである。

- ① プレキャスト壁高欄とコンクリート床版との接合は、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、プレキャスト壁高欄に配置されたループ鉄筋が交互に配置される構造としている。

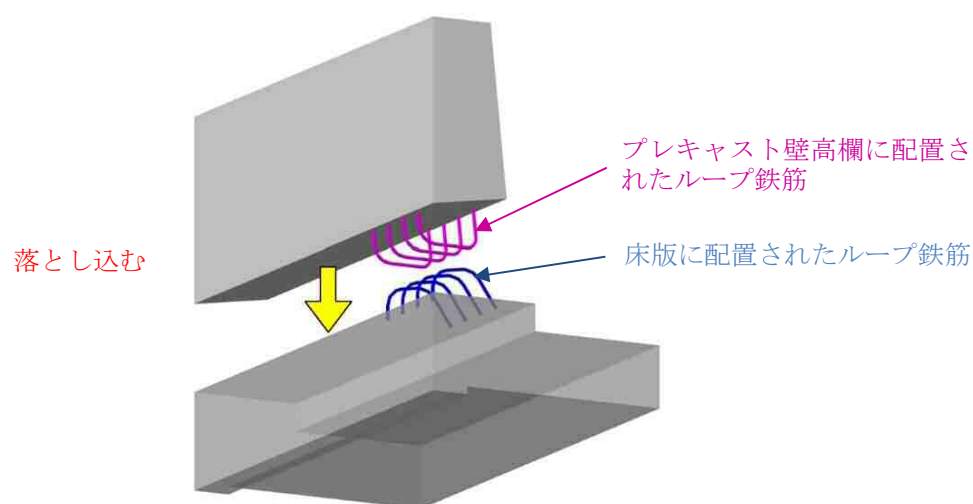


図-2.1.1 床版との接合方法

また、この接合部には、高耐久な接合モルタルが充填され、これによって、コンクリート床版とプレキャスト壁高欄が一体化され、壁高欄が橋軸方向に連続体構造となるようにしている。

- ② 橋軸方向の壁高欄同士の接合は、図-2.1.2 に示すように、橋軸方向に連続的な構造を発揮できるよう、また、衝突荷重による接合部の面外ずれが生じないように、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（商品名：リペアメント NS TYPE II）を充填して一体化させている（本接合構造については、「第3章 設計」で詳述している）。したがって、現場でのプレキャスト壁高欄の建込みでは、既に設置されたプレキャスト壁高欄に、上から落とし込むだけの施工となるため、施工の省力化が図れる。

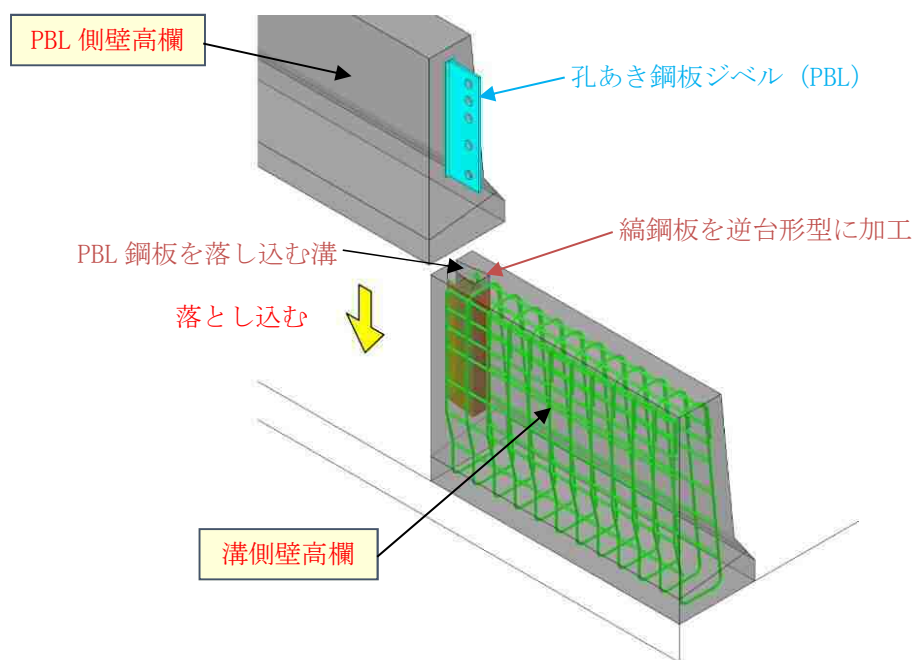


図-2.1.2 壁高欄同士の接合方法

ループ鉄筋が配置された床版にプレキャスト壁高欄を建て込んでいる全体のイメージ図を図-2.1.3 に示す。

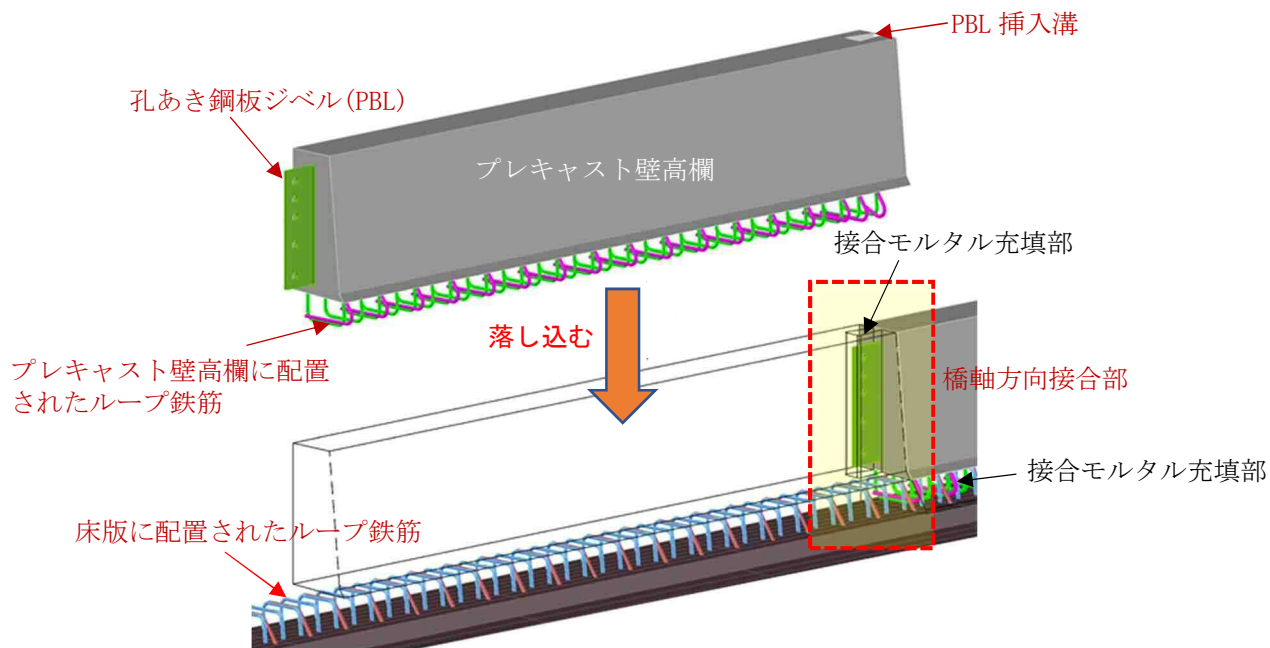


図-2.1.3 プレキャスト壁高欄の建て込みのイメージ図

③ これらのコンクリート床版との接合部及びPBLによる橋軸方向の壁高欄同士の接合部を有し、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壁高欄全体のシステムを「DAK 式プレキャスト壁高欄システム」という。

2.2 材料的特長

DAK 式壁高欄の材料的特長は、以下の通りである。

① DAK 式壁高欄システムは、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、プレキャスト壁高欄には、早強ポルトランドセメントをベースに、塩害に有効とされる高炉スラグ微粉末を 30%以上置換しており、一方、接合モルタルには、プレキャスト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置換している。

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、材料の物性は、試験結果の値として表-2.2.1 に示している。

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	J ₁₄ 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
付 着 強 度	建研式付着試験	NEXCO 断面修復材 28 日材令 1.5N/mm ² 以上		3.0N/mm ²

注) 規格値は、基本、NEXCO の要求性能として規定されているものである。

③ プレキャスト壁高欄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、プレキャスト壁高欄の見掛けの拡散係数の平均値が、182 日間の浸漬結果で $D_{ap}=0.534\text{cm}^2/\text{年}$ となり、一方、接合モルタルでは、371 日間の浸漬結果で $D_{ap}=0.281\text{cm}^2/\text{年}$ という結果が得られている。そして、耐久性の評価は、これらの見掛けの拡散係数から、予め 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から、Fick の第 1 法則が成り立つという仮定の基、Fick の第 2 法則に基づいた拡散方程式を用いて評価している。

第3章 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」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を準用して示すこととした。

ただし、DAK 式壁高欄工法は、工場製作のプレキャスト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、橋軸方向の部材接合構造等、DAK 式壁高欄特有の項目がある。従って、ここでは、DAK 式壁高欄で用いる材料の設計値、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することを目的に纏めている。

3.1.2 性能照査方針

本設計・施工ガイドラインで取り纏める性能照査は、「耐久性の照査」、「安全性の照査」、及び「使用性の照査」で、「耐久性の照査」では、遮塩性に対する耐久性能を、「安全性の照査」では、NEXCO の衝突試験に関する試験法である「試験法 441」に準じた衝突安全性能を、そして、「使用性の照査」については、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について、それぞれ具体的な照査方法を述べている。

3.2 材料の設計値

DAK 式壁高欄に用いられる材料は、表-3.2.1 の通りである。

表-3.2.1 DAK 式壁高欄の使用材料

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	プレキャスト壁高欄本体	$\sigma_{ck} = 40 \text{ N/mm}^2$
モルタル	床版と壁高欄の接合部	$\sigma_{ck} = 45 \text{ N/mm}^2$
鉄筋	壁高欄本体及び床版との接合部	SD345
孔あき鋼板	プレキャスト壁高欄同士の接合部	SM400
フランジプレート	孔あき鋼板との溶接用鋼材	SM400
編鋼板	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、プレキャスト壁高欄部に用いられる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	$\sigma_{ck} = 40 \text{ N/mm}^2$	28 日材齢
ヤ ン グ 係 数	$E_c = 3.1 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ 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、PBL 鋼板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	$E_s = 2.0 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ ¹⁾	0.3
孔あき鋼板 (PBL)	SM400	$E_s = 2.0 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ ¹⁾	0.3
フランジプレート	SM400	$E_s = 2.0 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ ¹⁾	0.3
縞 鋼 板	SS400	$E_s = 2.0 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ 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 式壁高欄の床版とプレキャスト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	$\sigma_{ck} = 45 \text{ N/mm}^2$	28 日材齢
ヤ ン グ 係 数	$E_c = 2.1 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ 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

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**に示す背面風荷重及び衝突荷重である。

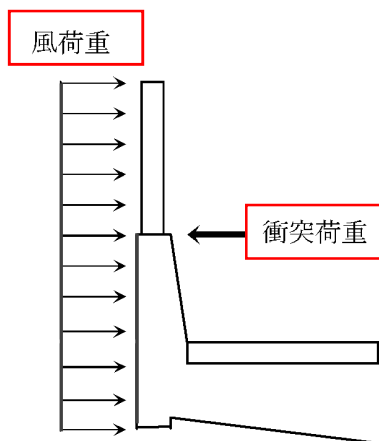


図-3.3.1 剛性壁高欄の設計に用いる荷重作用の種類

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述べることとし、風荷重については記載していない。

従って、照査対象荷重作用は、衝突荷重のみとしている。

3.3.2 作用の組合せ

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

表-3.3.1 壁高欄設計用の荷重の組合せ

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、壁高欄の衝突荷重に対する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) のみ考慮するものとする。

3.4 応答値の算定

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種類ある。それは、床版とプレキャスト壁高欄の接合部の安全性、つまり、接合部に配置される鉄筋応力度の照査用のモデルと、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である。

(1) 床版との接合部に配置される鉄筋応力度照査用のモデル化

接合部に配置される鉄筋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、NEXCO の場合、壁高欄天端に橋軸方向に作用する天端線荷重として与えられており、壁高欄を、床版付け根を固定端とする片持ち梁としてモデル化する。

鉄筋応力度の照査断面は、断面変化点である設計断面①及び設計断面②である。

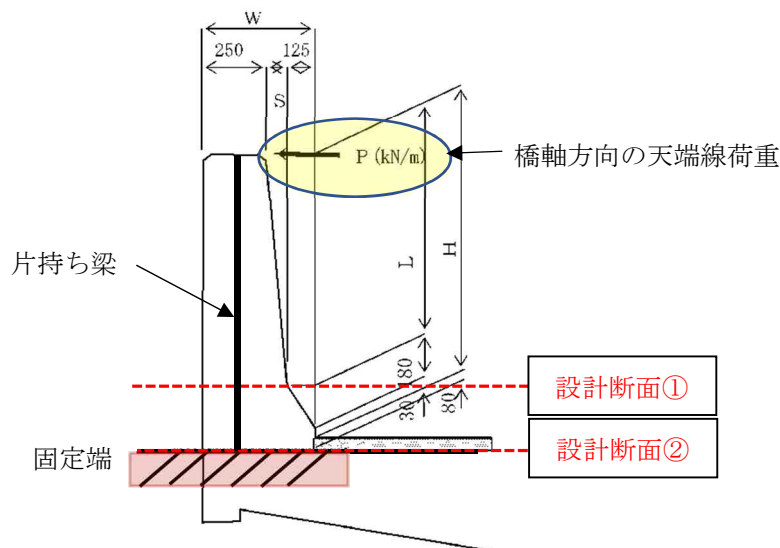


図-3.4.1 各設計断面に配置される鉄筋応力度の照査用モデル化

(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の照査を行うためには、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 PBL 鋼板には各断面力が生じることになる。

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ており、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となっているが、孔あきジベルの安全性を考慮して、PBL 鋼板に設計上不利な断面力が生じよう、図-3.4.3 に示すように、面外変形が大きくなる断面形状とするため、壁高欄の天端幅を 250mm 一定の等断面形状としている。

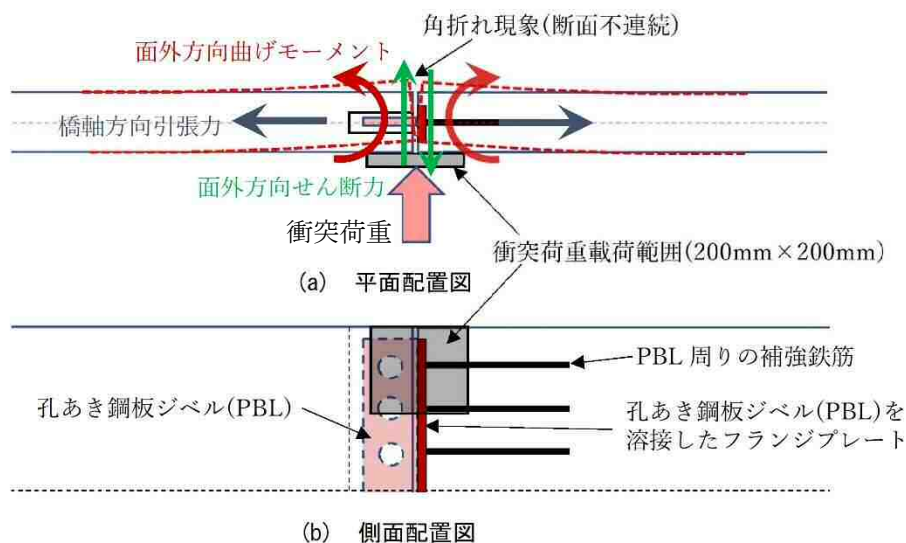


図-3.4.2 壁高欄継手部に衝突荷重が作用した場合の接合部の変形と発生断面力

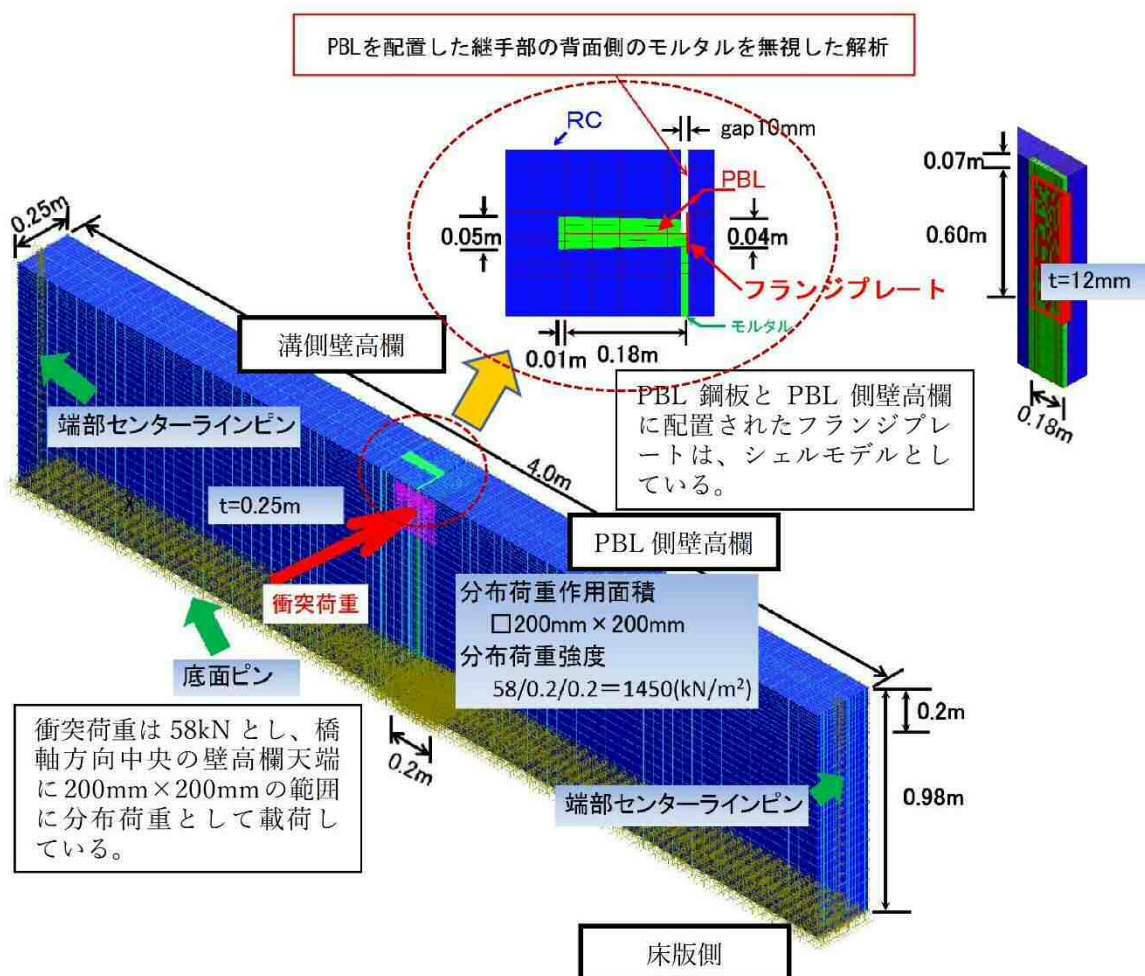


図-3.4.3 PBL 鋼板をモデル化した 3 次元 FEM 解析モデル

3.4.2 設計応答値の算定

DAK 式壁高欄の設計に用いる設計応答値の算定には、「3.4.1 作用のモデル化」で述べた通り、2 種類ある。それは、床版とプレキャスト壁高欄の接合部の安全性照査、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定と、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定である。

(1) 床版とプレキャスト壁高欄の接合部の安全性照査のための設計応答値の算定

「3.4.1 作用のモデル化」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。

$$M_y = p \times x \quad \dots \dots \dots \text{式-3.4.1}$$

ここに、 M_y : 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、以下の表-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 p は、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 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 $M_y = p \cdot x$ (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定

「3.4.1 作用のモデル化」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については、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、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衝突荷重作用時に PBL 鋼板付け根に作用する設計応答値は、図-3.4.5 に示す通りとなる。

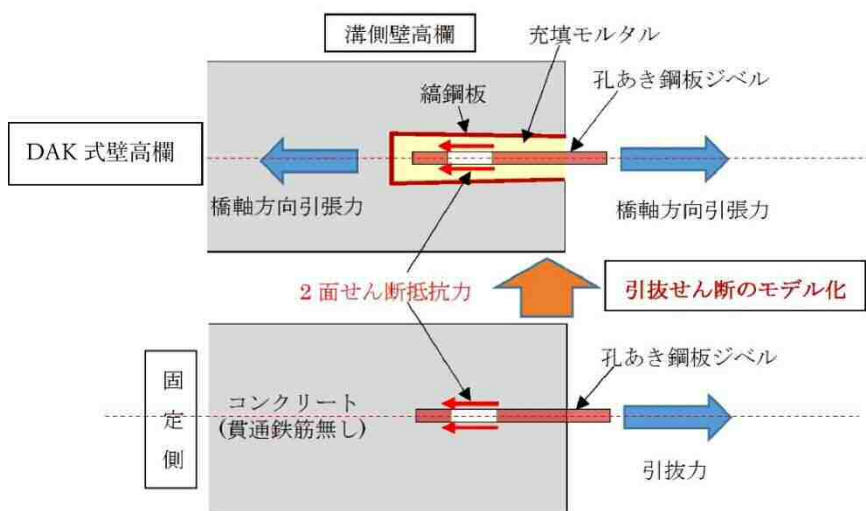


図-3.4.4 DAK 式壁高欄の孔あき鋼板ジベルに作用するせん断力の作用

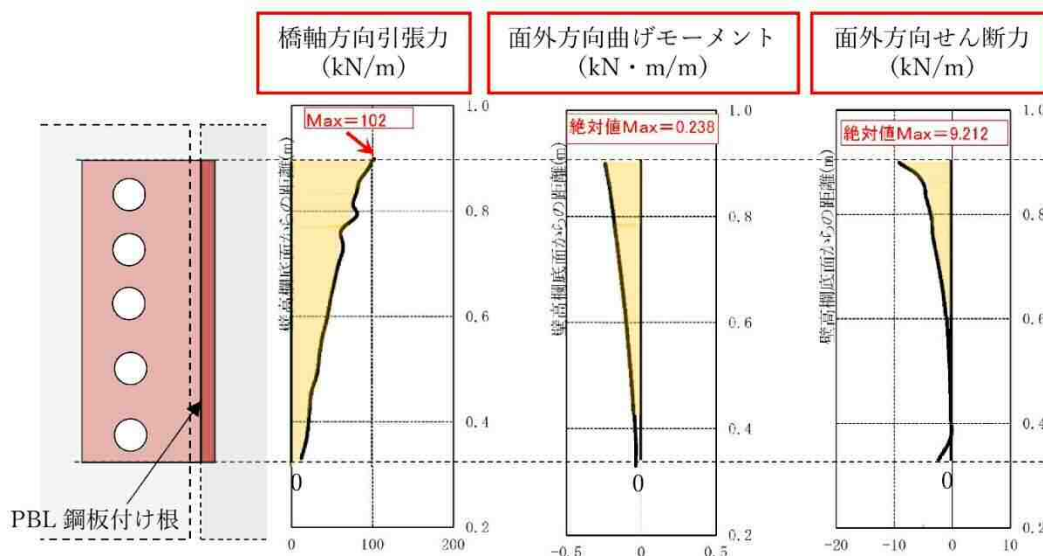


図-3.4.5 衝突荷重作用時に PBL 鋼板付け根に作用する設計応答値

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、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応力度の制限値を言う。

従って、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

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ている構成材料の各限界値

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/mm^2)	衝突荷重作用 時時の割増係 数	各構成材料の 限界値 (N/mm^2)
コンクリート	$\sigma_{ck}=40\text{N}/\text{mm}^2$	13.0 ¹⁾	1.5	19.5
モルタル	$\sigma_{ck}=45\text{N}/\text{mm}^2$	15.0 ²⁾	1.5	22.5
鉄筋	SD345	200 ³⁾	1.5	300
孔あき鋼板	SM400	140 ⁴⁾	1.5	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) : 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、プレキャスト壁高欄本体のコンクリート及び床版とプレキャスト壁高欄の接合部に充填されるモルタルには、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 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、衝突安全性の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 で設定された衝突荷重が、DAK 式壁高欄に静的に作用した場合の床版とプレキャスト壁高欄との接合部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、衝突荷重作用時の設計荷重に対する使用性としての性能照査を行っている。

3.6.2 耐久性の照査

DAK 式壁高欄の耐久性に関する性能照査については、基本、図-3.6.1 に示す照査フローに従って照査してよいとしている。

基本的には、Fick の第 2 法則によって、また、2 次元 FEM 解析モデルを用いた塩分浸透解析によって、それぞれ塩分浸透に対する耐久性の照査を行っている。

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 式壁高欄本体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と相対するよう、それらの関係を整理し、得られた結果から最終的な耐久性の照査を行っている。

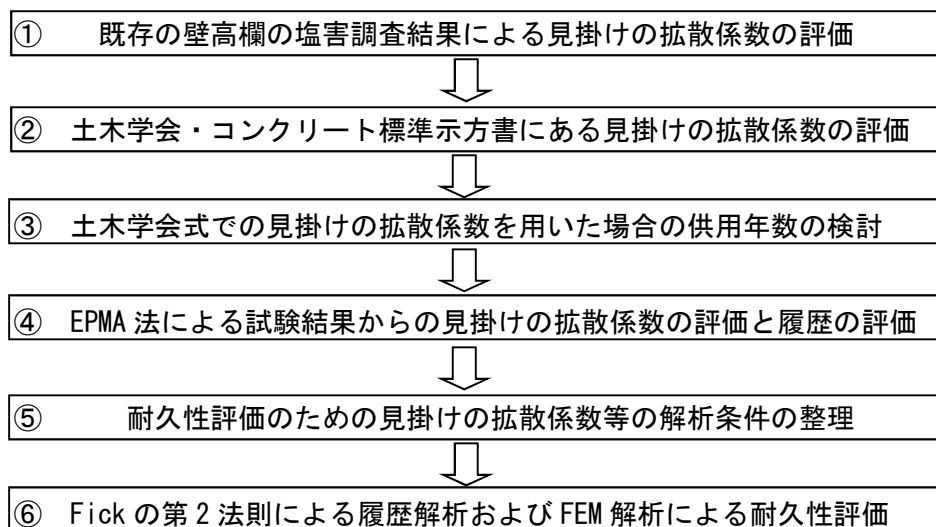


図-3.6.1 耐久性の評価にあたる検討過程

(1) 既存の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、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 Fick の第 2 法則を用いた経過時間と見掛けの拡散係数との関係のフィッティング曲線を作成する。

$$C(x, t) = C_{a0} \left\{ 1 - \operatorname{erf} \left(\frac{x}{2\sqrt{D_{ap} \cdot t}} \right) \right\} + C_i \quad \dots \dots \dots \text{式-3.6.1}$$

ここに、 $C(x, t)$: 任意のかぶり深さと経過年数時の塩化物イオン濃度 (kg/m³)
 C_{a0} : コンクリート表面の全塩化物イオン濃度 (kg/m³)
 x : 計測するかぶり深さ (cm)
 D_{ap} : 塩化物イオンの見掛けの拡散係数 (cm²/年)
 t : 経過時間 (年)
 C_i : コンクリートの単位質量あたりの初期全塩化物イオン濃度 (kg/m³)

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フィッティング曲線は図-3.6.2 の通りとなる。

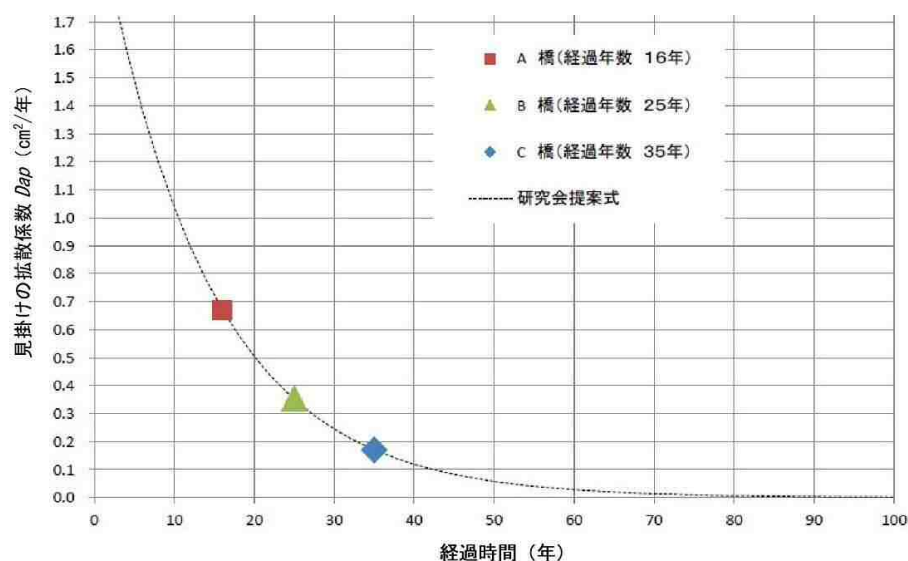


図-3.6.2 経過時間と見掛けの拡散係数との関係

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、コンクリートの水セメント比を基本とした DAK 式壁高欄の耐久性評価を行うための基本フィッティング曲線と定義し、本フィッティング曲線を式-3.6.2 として表している。なお、この場合、拡散係数は、100 年で 0 に近づくとは仮定している。

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

ここに、 $D_c(t)$: 経過時間（ t 年）における見掛けの拡散係数（ $\text{cm}^2/\text{年}$ ）
 W/C : 水セメント比
 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、前記で計算した図-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、普通ポルトランドセメントを用いた従来の場所打ち壁高欄に対し、見掛けの拡散係数(D_k)は、式-3.6.3 で計算してよいとしている。

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

ここに、 D_k : 見掛けの拡散係数（ $\text{cm}^2/\text{年}$ ）
 W/C : 水セメント比（調査の結果、0.5 と設定）

(3) 土木学会式での見掛けの拡散係数を用いた場合の供用年数の検討

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を代入し、経過時間（年）を計算している。

計算結果、土木学会式から計算される見掛けの拡散係数は、 $D_k=0.501\text{cm}^2/\text{年}$ となり、図-3.6.2 のフィッティング曲線から、コンクリート部材が 20 年間塩害にさらされたときの見掛けの拡散係数に相当すると評価できる。

(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

DAK 式壁高欄は、早強ポルトランド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 $40\text{N}/\text{mm}^2$ としている。

EPMA 法による試験結果から、DAK 式壁高欄本体（プレキャスト部）は、浸漬期間 182 日間で、見掛けの拡散係数が $D_{ap}=0.534\text{cm}^2/\text{年}$ 、また、床版との接合モルタルは、浸漬期間 371 日間で、見掛けの拡散係数は $D_{ap}=0.281 \text{ cm}^2/\text{年}$ と得られたことから、場所打ち壁高欄の場合のフィッティング曲線（図-3.6.2）と相似させることによって DAK 式壁高欄本体と接合モルタルの上記（3）で算出した経過時間におけるそれぞれの見掛けの拡散係数を推定している。

ここで、DAK 式壁高欄本体及び接合モルタルのフィッティング曲線の作成方法は、先ず、DAK 式壁高欄の浸漬試験 182 日を基本として、式-3.6.2 の場所打ち壁高欄の提案式から、182 日に対する見掛けの拡散係数を計算する。結果は $2.060\text{cm}^2/\text{年}$ となるが、DAK 式壁高欄

の場合では、EPMA 法の結果から、182 日での見掛けの拡散係数は $0.534\text{cm}^2/\text{年}$ であることから、DAK 式壁高欄の見掛けの拡散係数曲線は、両者の見掛けの拡散係数の比（ $\alpha = 0.534/2.060 = 0.259$ ）を、場所打ち壁高欄の見掛けの拡散係数曲線に乗じることで算出して良いとした。接合モルタルも同様な方法で算出している。

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を基本として、DAK 式壁高欄の関係を図化すると、図-3.6.3 の通りとなる。

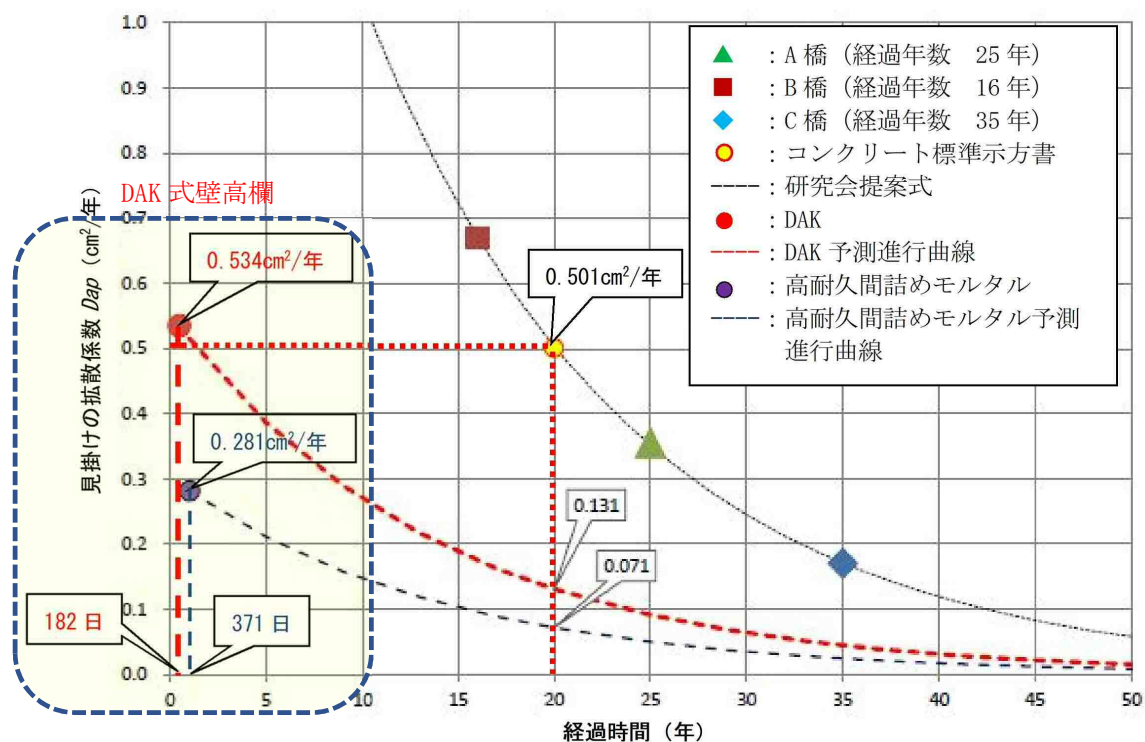


図-3.6.3 土木学会式を基本とした DAK 式壁高欄の経過時間と見掛けの拡散係数との関係

以上の結果、経過年数（年）20 年に相当する場所打ち壁高欄、DAK 式壁高欄及び接合モルタルのそれぞれの見掛けの拡散係数は、表-3.6.1 の通りとなる。

表-3.6.1 経過年数（年）20 年に相当する各材料の見掛けの拡散係数

検討項目	場所打ち 壁高欄	DAK 式プレキ ヤスト壁高欄	接 合 モルタル
経過年数（年）	20	20	20
見掛けの拡散係数（ $\text{cm}^2/\text{年}$ ）	0.501	0.131	0.071

表-3.6.1 から分かるように、DAK 式壁高欄本体及び接合モルタルとも、場所打ち壁高欄に比べ、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見掛けの拡散係数等の解析条件の整理

上記の結果を基に、Fick の第 2 法則 を用いて耐久性を評価すべき解析条件を整理すると、以下の通りとなる。

① コンクリート表面の全塩化物イオン濃度 (C_{ao})

既存の場所打ち壁高欄の塩分浸透履歴のフィッティング曲線の結果では、コンクリート表面塩化物イオン濃度は、ほぼ $12.0\text{kg/m}^3 \sim 13.0\text{kg/m}^3$ の間にあること、また、コンクリート標準示方書「土木学会 2012 年制定「設計編：標準」に規定されるコンクリート表面塩化物イオン濃度 C_o の分類から、より危険側の環境条件として塩分飛沫帯の区分濃度を勘案して、 $C_{ao}=13.0\text{kg/m}^3$ と設定した。

② 見掛けの拡散係数 (D_{ap}) の設定

解析に用いる DAK 式壁高欄の見掛けの拡散係数は、表-3.6.1 より、 $D_{ap}=0.131\text{cm}^2/\text{年}$ と設定する。一方、場所打ち壁高欄の場合は、 $D_{ap}=0.501\text{cm}^2/\text{年}$ である。

③ コンクリートの単位質量あたりの初期全塩化物イオン濃度 (kg/m^3)

DAK 式壁高欄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全塩化物イオン濃度は、EPMA 法による結果を基本に、 $C_i=0.1\text{kg/m}^3$ と設定する。一方、場所打ち壁高欄の場合は、試験結果を基に、 $C_i=0.1\text{kg/m}^3$ と設定した。

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}) を用いることとした。

従って、早強ポルトランドセメントを用いた場合、鋼材腐食発生限界濃度 (C_{lim}) は式-3.6.4 で計算できる。

$$C_{lim} = -2.2 (W/C) + 2.6 \quad (0.30 \leq W/C \leq 0.55) \quad \cdots \cdots \text{式-3.6.4}$$

ここに、 C_{lim} : 鋼材腐食発生限界濃度 (kg/m^3)

W/C : 水セメント比 (=0.4)

ここで、耐久性の評価については、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 Fick の第 2 法則を用いて解析することによって評価することとした。

一方、場所打ち壁高欄の場合、普通ポルトランドセメントをベースとしていることから、コンクリート標準示方書 (土木学会) の規定による鋼材腐食発生限界濃度 (C_{lim}) は、式-3.6.5 で計算できる。

$$C_{lim} = -3.0 (W/C) + 3.4 \quad (0.30 \leq W/C \leq 0.55) \quad \cdots \cdots \text{式-3.6.5}$$

ここに、 C_{lim} : 鋼材腐食発生限界濃度 (kg/m^3)

W/C : 水セメント比 (=0.5)

(6) 耐久性の評価

DAK 式壁高欄の塩害に対する耐久性の評価については、上記で整理した解析条件を基に、Fick の第 2 法則に則り浸透履歴解析を行い、経過時間（年）と見掛けの拡散係数との関係を整理している。一方、FEM 解析については、図-3.6.4 に示すように、壁高欄表面から、コンクリート表面の全塩化物イオン濃度 $C_{ao}=13.0\text{kg/m}^3$ が、表-3.6.1 に示す見掛けの拡散係数を有する浸透履歴に伴って浸透すると仮定し、また、壁高欄は、橋軸方向に連続構造で、コンクリート表面からの浸透履歴は、橋軸方向に変化しないと仮定して経過時間（年）と見掛けの拡散係数との関係を解析し整理している。

これらの場合、Fick の第 2 法則に従った解析は、非定常解析とし、FEM 解析における塩分浸透解析では、汎用 FEM 解析プログラムの熱伝導解析機能を利用している。

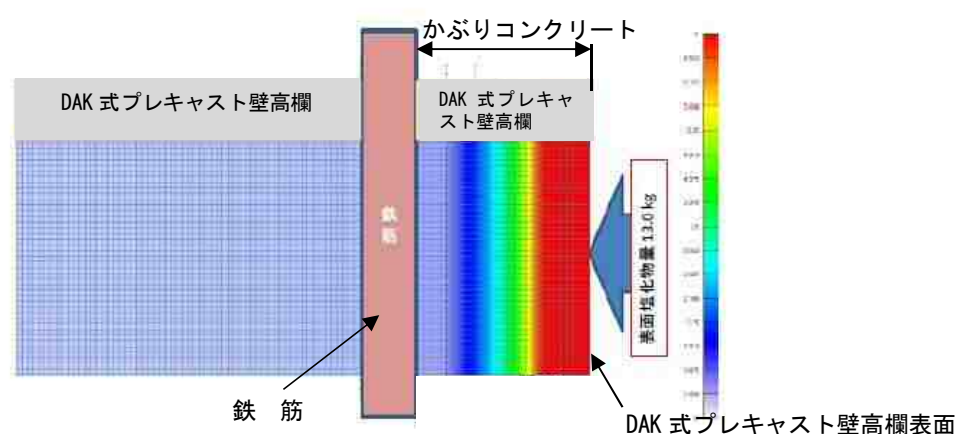


図-3.6.4 FEM 解析の解析モデル図

DAK 式壁高欄のコンクリートかぶり別解析結果を図-3.6.5 に示す。

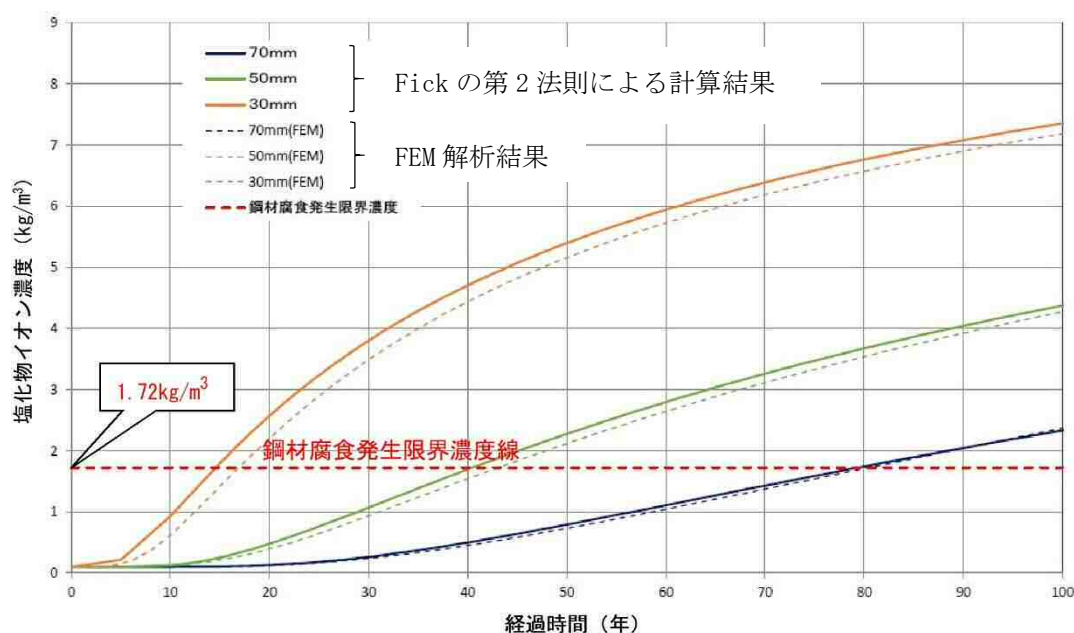


図-3.6.5 Fick の第 2 法則及び FEM による解析結果

図-3.6.5 より、コンクリート表面の全塩化物イオン濃度が $C_{ao}=13.0\text{kg/m}^3$ の時の塩分浸透解析の結果、DAK 式壁高欄の遮塩性に対する耐久性評価指標として、塩分が鋼材腐食発生限界濃度に達するときの経過年数を表すと、表-3.6.2 の通りとなる。

なお、表-3.6.2 には、参考値として、通常の場合打ち壁高欄の場合の解析結果を示した。

表-3.6.2 DAK 式壁高欄の場合の塩分が鋼材腐食発生限界濃度に達するときの経過年数

対象壁高欄	コンクリート かぶり	Fick の第 2 法則	FEM 解析
DAK 式壁高欄	30mm	15 年	17 年
	50mm	40 年	43 年
	70mm	80 年	81 年
通常の場合打ち 壁高欄	30mm	4 年	7 年
	50mm	12 年	14 年
	70mm	22 年	24 年

以上の結果、DAK 式壁高欄のプレキャスト壁高欄部の遮塩性に対する耐久性評価指標として、塩分が鋼材腐食発生限界濃度に達するときの経過年数は、コンクリートかぶりを 70mm 確保すると約 80 年となり、高炉スラグ微粉末混入の影響は、遮塩性に大きく影響することが分かる。

一方、接合モルタルについては、前述した通り、見掛けの拡散係数が DAK 式壁高欄のプレキャスト壁高欄部より小さいことから、プレキャスト壁高欄部より更に耐久性が高いことが分かっている。

因みに、普通ポルトランドセメントを用いた場合打ち壁高欄では、解析結果として、コンクリートかぶり 70mm の場合では、塩分が鋼材腐食発生限界濃度に達するときの経過年数は、約 20 年強という結果となっている。

このことから、DAK 式壁高欄システムは、高炉スラグ微粉末の混入により、塩害に対して、少なくとも通常の場合打ち壁高欄に比べ、4 倍以上の耐久性を有することが分かる。

3.6.3 安全性の照査

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 が示す衝突試験では、図-3.6.6 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。

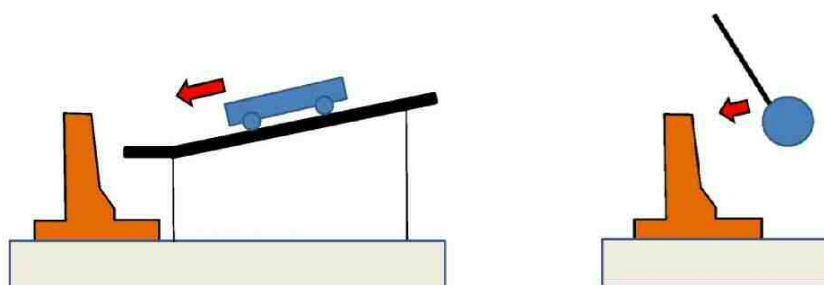


図-3.6.6 衝突試験の概念図（左：台車、右：重錘）

次に、衝突条件は、表-3.6.3 に示す通り規定されている。

表-3.6.3 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。

$$\text{衝突直前のエネルギー } I = (1/2) \cdot m \cdot v^2$$

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-3.6.4 に示す通りである。

表-3.6.4 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、壁高欄の安全性を照査している。

(2) DAK 式壁高欄の安全性照査

1) 衝突試験の方法

DAK 式壁高欄の衝突試験では、図-3.6.6 に示す重錘を用いて行った。

重錘の背面に取り付けたワイ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-3.6.3 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-3.6.7 に DAK 式壁高欄の重錘を用いた衝突試験概要図を示す。

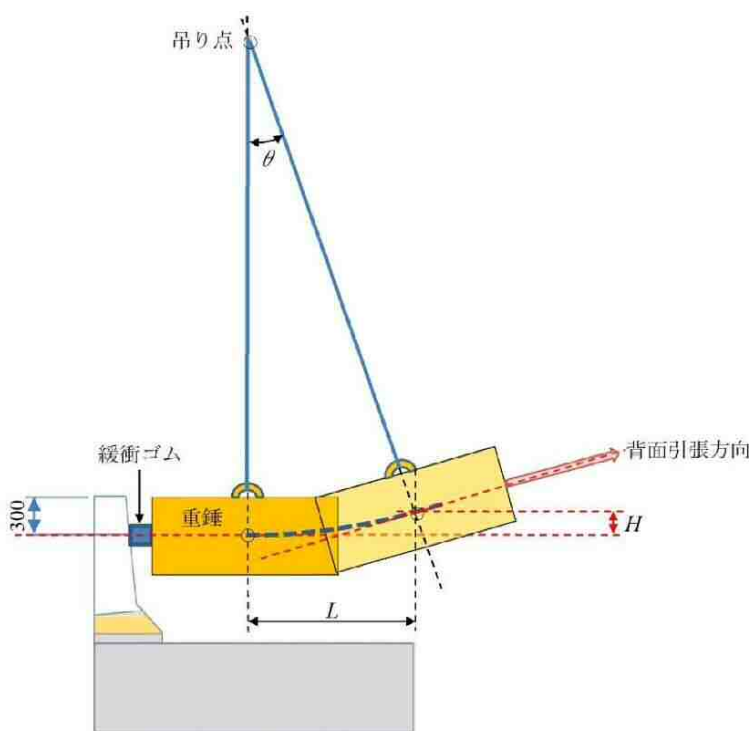


図-3.6.7 DAK 式壁高欄の重錘を用いた衝突試験概要図

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-3.6.8 に示す通り、壁高欄中央部、端部、橋軸方向接合部の 3 箇所とし、200mm×200mm の大きさ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。

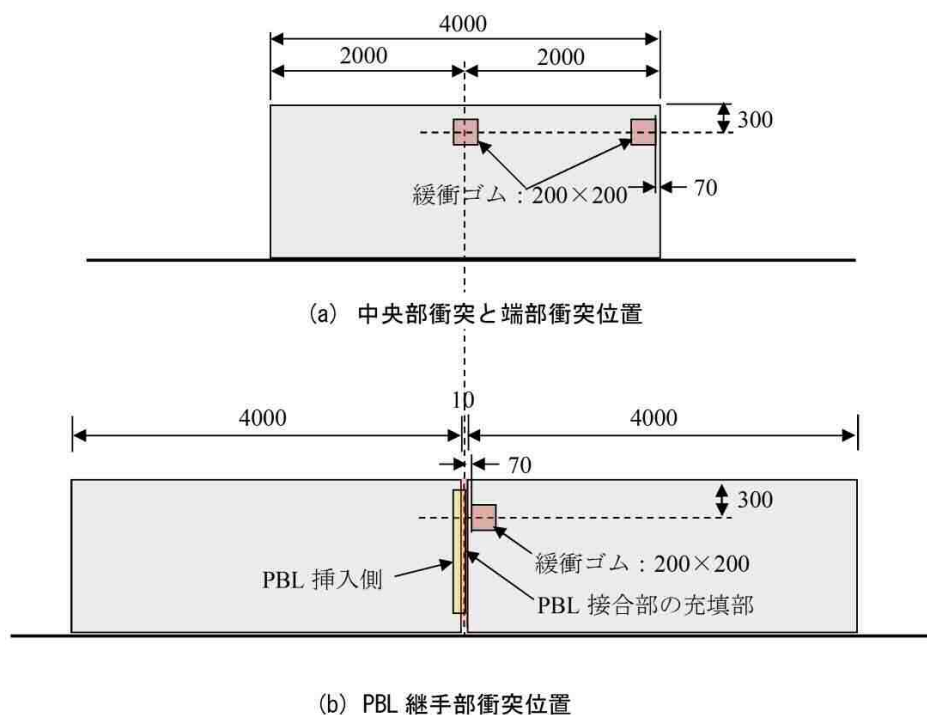


図-3.6.8 DAK 式壁高欄の衝突荷重の衝突位置

3) 重錘の引き上げ高さ

DAK 式壁高欄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-3.6.3 参照）に対し、運動エネ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-3.6.5 の通りとし、試験時には、基本、吊り上げ高さを管理した。

表-3.6.5 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、以下の通りとした。

- ① 設計荷重相当の衝突直前のエネルギー（2.8kJ）での吊り上げ高さ（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）での吊り上げ高さ（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倍での吊り上げ高さから重錘を衝突

上記手順により試験を行うが、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倍での吊り上げ高さから重錘を衝突させることとした。

ここで、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、以下の通りである。

- 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ていた。
- 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ていた。
- 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 の範囲に留まっていた。

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。

3.6.4 使用性の照査

使用性に関する性能照査については、NEXCO で設定された衝突荷重が、DAK 式壁高欄に静的に作用した場合の床版とプレキャスト壁高欄との接合部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設計荷重に対しての使用性として性能照査を行っている。

(1) 床版とプレキャスト壁高欄との接合部の照査

床版とプレキャスト壁高欄との接合部の照査については、壁高欄縦方向（鉛直方向）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 6-116 参考図」として、表-3.6.6 に鉄筋の配置と、図-3.6.9 に横方向鉄筋の配置図が与えられている。

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-3.6.6 鉄筋の配置

種別	縦方向鉄筋 (遮音壁高さ $H \leq 5\text{m}$)	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 1 m 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。

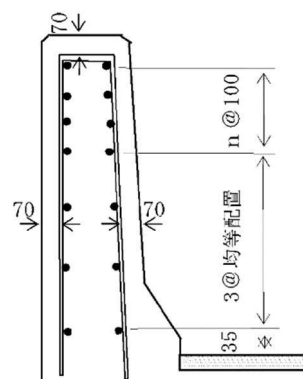


図-3.6.9 横方向鉄筋の配置図

また、種別 SB の配筋例が図-3.6.10 の通り与えられている。

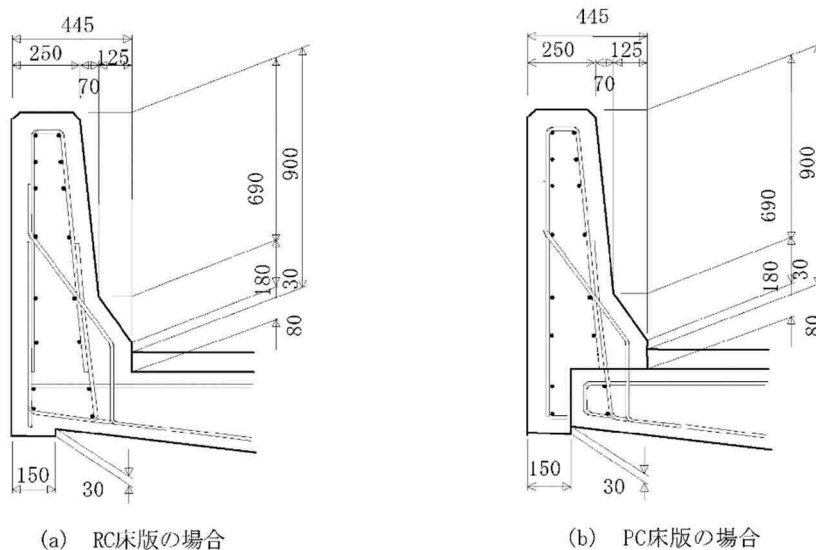


図-3.6.10 鉄筋コンクリート製壁型防護柵の配筋例（種別 SB）

2) 部材の照査

DAK 式壁高欄は、図-3.6.11 に示すように、基本、プレキャスト壁高欄を床版上に建て込み、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完成する構造になっている。

また、床版とプレキャスト壁高欄との鉄筋継手は、ループ鉄筋としている。

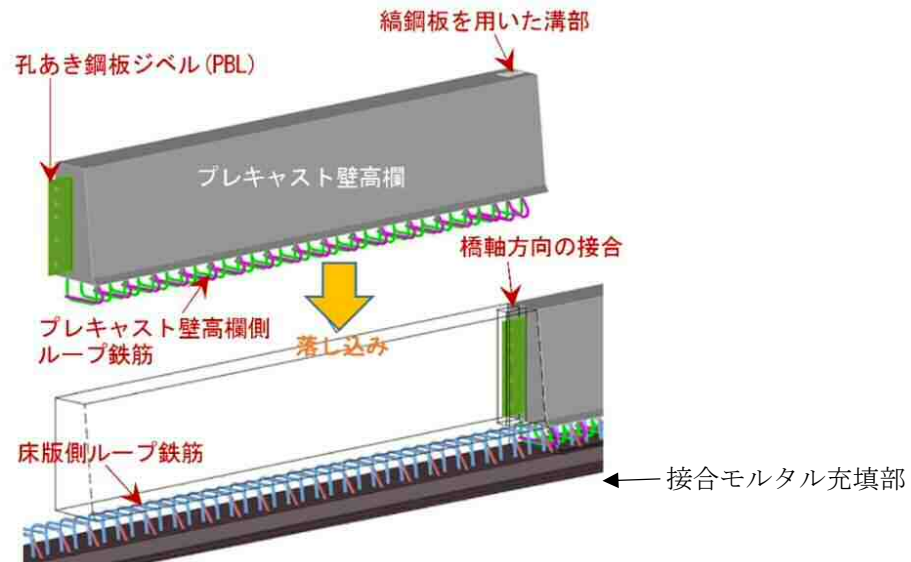


図-3.6.11 DAK 式壁高欄の構造と鉄筋継手方法

DAK 式壁高欄の部材の照査では、「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。

照査断面は、図-3.6.12 に DAK 式壁高欄の構造と鉄筋配置のイメージ図を示すが、その断面変化点である設計断面①及び設計断面②である。

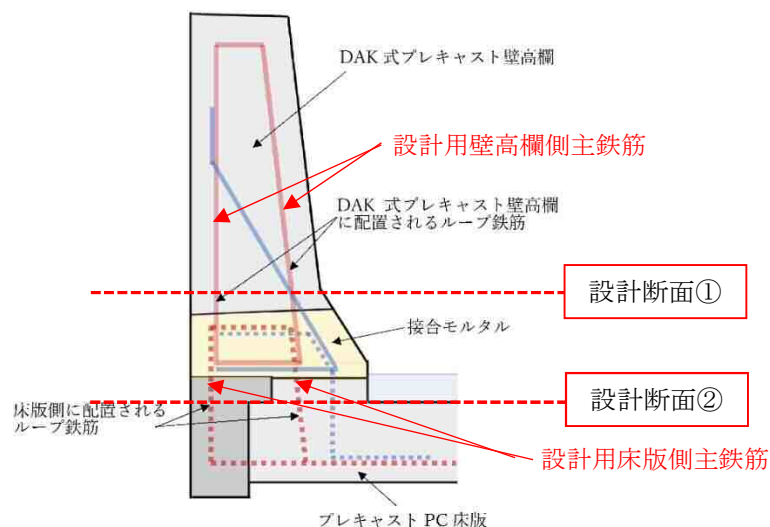


図-3.6.12 DAK 式壁高欄の構造と鉄筋継手方法

部材の安全性照査は、式-3.6.6に従って行っている。

$$\gamma_i \cdot S_d / R_{lim} \leq 1.0 \quad \dots \dots \dots \text{式-3.6.6}$$

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。

ここで、DAK 式壁高欄の部材照査を行い、安全性の確認を行う。

なお、部材照査は、衝突荷重による照査であることから、引張鉄筋を図-3.6.12に示す壁高欄前面側主鉄筋とし、部材を単鉄筋の RC 断面として照査を行っている。

照査断面①は、プレキャスト壁高欄内に照査断面があるため、基本、プレキャストコンクリート部材として照査する。

照査断面②は、図-3.6.12に示すように、床版を一部嵩上げた構造となっているが、基本、床版上に接合モルタルを充填するとして、モルタル部材と仮定して照査する。

照査する単鉄筋の RC 断面の基本構造を図-3.6.13に示し、照査条件を表-3.6.7に示す。

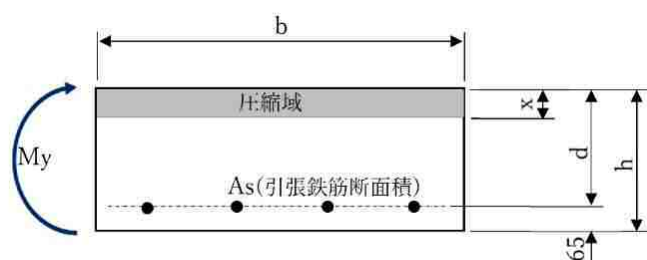


図-3.6.13 設計用 RC 断面の諸元

表-3.6.7 照査条件

照査断面	設計応答値	部材幅	引張鉄筋の有効高さ	部材厚	鉄筋断面面積	ヤング係数
	$M_y \text{ (kN} \cdot \text{m/m)}$	$b \text{ (mm)}$	$d \text{ (mm)}$	$h \text{ (mm)}$	$A_s \text{ (mm}^2\text{)}$	n
設計断面①	15.180 ¹⁾	1000	243.5	320	1013.6	15
設計断面②	21.560 ¹⁾	1000	272.5	445	1013.6	15

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) : 鉄筋かぶりを 70mm としている。

3) : 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、 $A_s = (1000/125) \times 126.7\text{mm}^2 = 1013.6\text{mm}^2$ 。

4) : 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いる。

単鉄筋の RC 部材としての応力照査は、市販の単鉄筋 RC 断面の計算ソフトを用いて計算している。

計算結果を表-3.6.8に示す。

表-3.6.8 単鉄筋 RC 断面の計算結果

照査断面	材料の種別	設計応答値 S_d (N/mm ²) ①	限界値 R_{lim} (N/mm ²) ②	判定 ①/②
設計断面①	コンクリート	1.9	19.5	0.10 OK
	鉄筋	68.2	300	0.23 OK
設計断面②	モルタル	2.3	22.5	0.10 OK
	鉄筋	86.2	300	0.29 OK

以上の結果、各設計断面は、NEXCO の「設計要領第二集 橋梁建設編 6-116 参考図」としての表-3.6.6 及び図-3.6.9 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-3.6.6 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、床版との鉄筋継手がループ鉄筋継手であるが、衝突荷重による接合部前面の引張挙動は、連続鉄筋による挙動と同等であると仮定し、設計断面②に配置された主鉄筋を引張鉄筋として計算している。

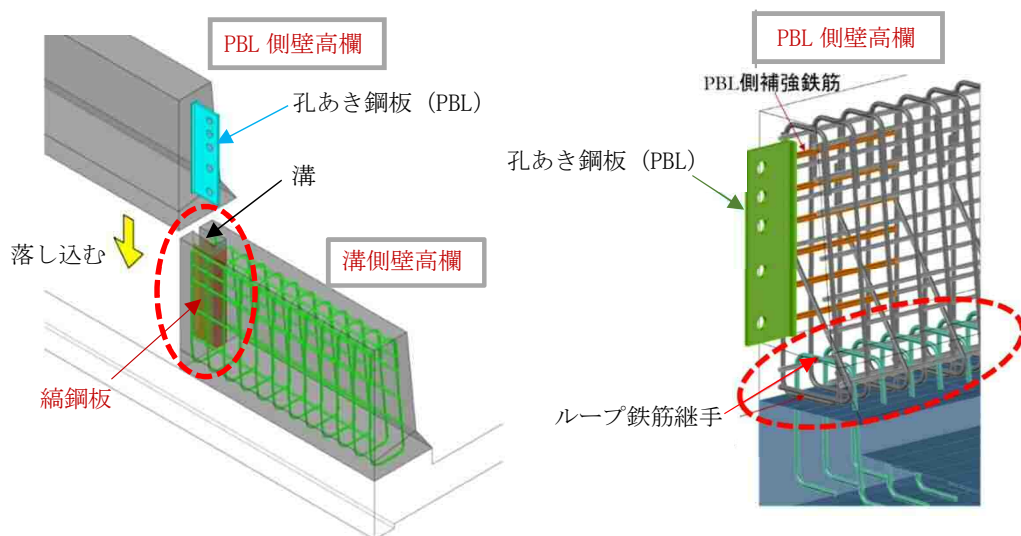
(2) プレキャスト壁高欄同士の橋軸方向接合部の照査

DAK 式壁高欄の場合、プレキャスト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用いている。

従って、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う。

1) DAK 式壁高欄の橋軸方向接合構造

DAK 式壁高欄の構造的特徴は、図-3.6.14 に示す通りである。



(a) 橋軸方向接合方法 (孔あき鋼板 (PBL))

(b) 床版との接合方法 (ループ鉄筋継手)

図-3.6.14 DAK 式壁高欄の橋軸方向接合構造

DAK 式壁高欄同士の橋軸方向接合は、孔あき鋼板ジベルを用いており、DAK 式壁高欄特有の接合構造である。

この場合、モルタルが充填された溝内では、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目的で、また、孔あき鋼板の橋軸方向引張力による抵抗性を確保する目的で縞鋼板を配置している。

一方、床版との接合方法であるループ鉄筋継手の配置は、一般的な場所打ち壁高欄と同様、NEXCO の壁高欄の標準図集にある鉄筋配置を基本とするが、DAK 式壁高欄側から突出する鉄筋及び床版側から突出する鉄筋をループ鉄筋として、それぞれ交互に配置してループ鉄筋継手としたものである。

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-3.6.15 に示すフローチャートに準じている。

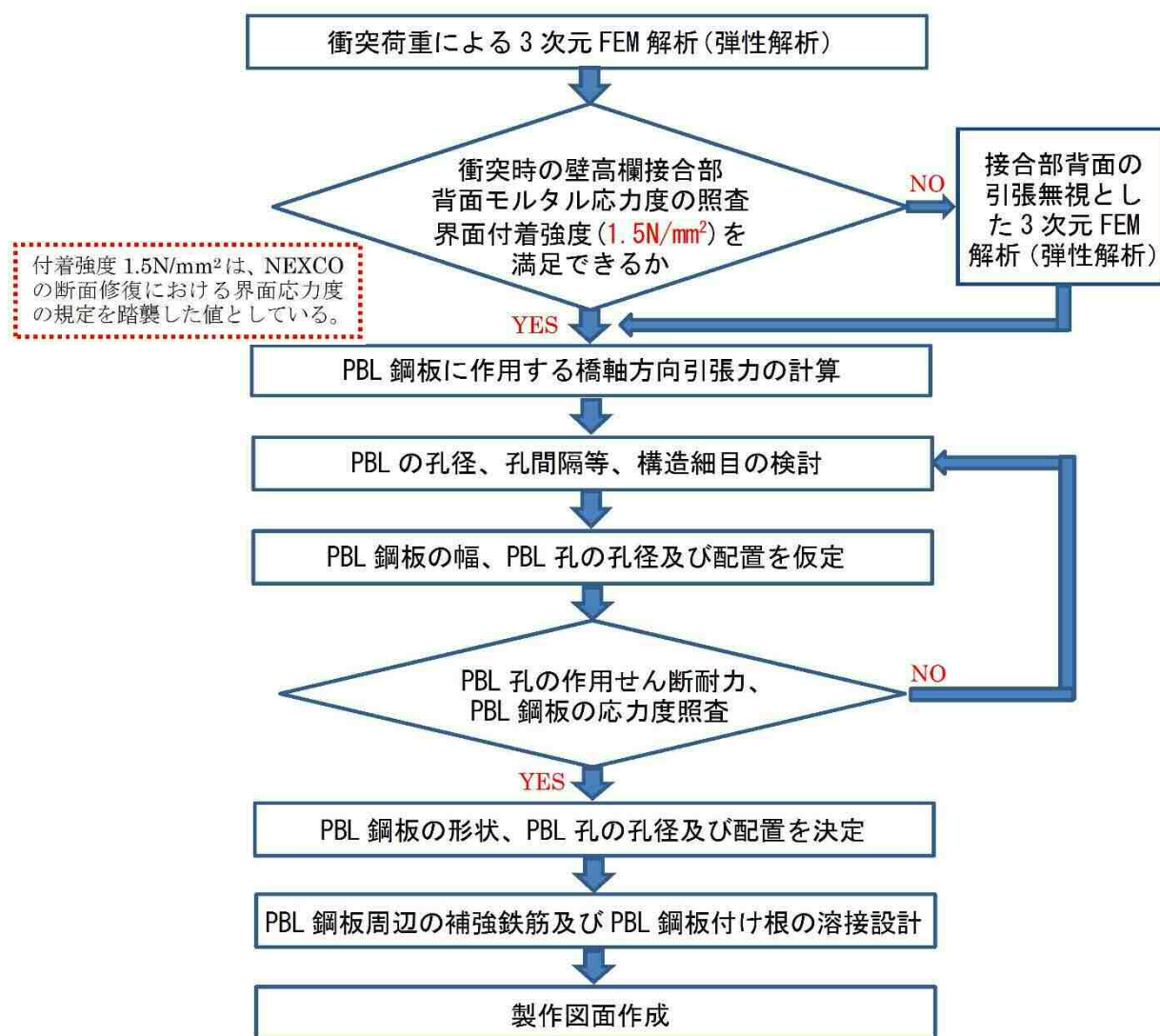


図-3.6.15 DAK 式壁高欄の橋軸方向接合部の照査のフローチャート

3) DAK 式壁高欄の橋軸方向接合部照査のための条件

(a) 設計衝突荷重

DAK 式壁高欄の設計のための荷重作用として、衝突荷重のみを考慮している。

なお、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。

計算結果、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、 $F=58 \text{ kN}$ となる。

(b) 荷重作用の組合せ

DAK 式壁高欄の設計を行う場合の荷重の組合せは、表-3.3.1 に示した通りである。

(c) 応力度の割増係数

DAK 式壁高欄の設計時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

DAK 式壁高欄を設計する場合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-3.6.16 に示す継手部の挙動と断面力が作用する。

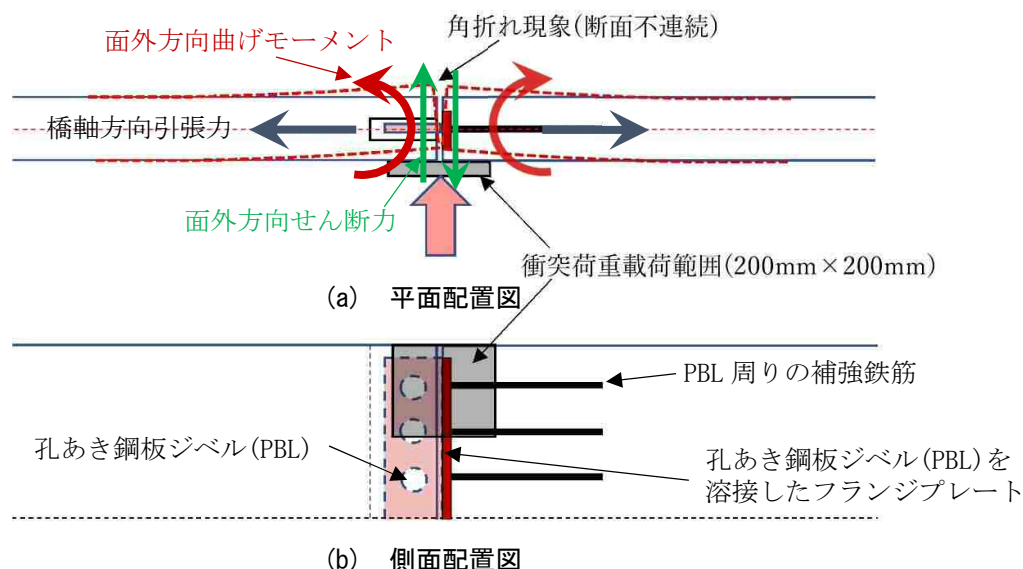


図-3.6.16 DAK 式壁高欄の衝突荷重による橋軸方向接合部の面外変形と作用断面力

従って、PBL 鋼板に作用する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。

解析モデルは、図-3.4.3 に示した通りであるが、安全側の断面力が算出されるように、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、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度を考慮して、4.0m としている。

更に、図-3.6.15 の設計フローチャートにあるように、衝突荷重による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 を超えることから、背面部のモルタル部のみ gap 要素を設け、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、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。

(b) 照査用応答値の算出

照査用応答値の算出は、以下に示す各照査項目を基本としているため、PBL 鋼板付け根の設計応答値を抽出している。

- ① 孔あき鋼板ジベルの照査
- ② PBL 周りの補強鉄筋の照査
- ③ 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照査

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照査

(a) 照査方法

照査方法は、「(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」の図-3.4.4 に示した通り、溝内に充填されたモルタルが縞鋼板に拘束され、PBL 鋼板に作用する橋軸方向引張力によって、PBL 鋼板が橋軸方向に引き抜かれようとする挙動に対し、孔あき鋼板がジベルとして、PBL 鋼板の孔に充填されたモルタルの 2 面せん断力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設計は、「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、孔あき鋼板の孔にコンクリートが充填された場合の規定である。

しかしながら、DAK 式壁高欄では、図-3.4.4 に示したように、孔の中に充填されているのは、コンクリートではなくモルタルである。

従って、DAK 式壁高欄の孔あき鋼板ジベルの設計では、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に関しては、以下の文献を参考に、(せん断耐力比) と (孔の面積×圧縮強度) の関係を整理して図化した図-3.6.17 の関係を用いて検討した。

【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.

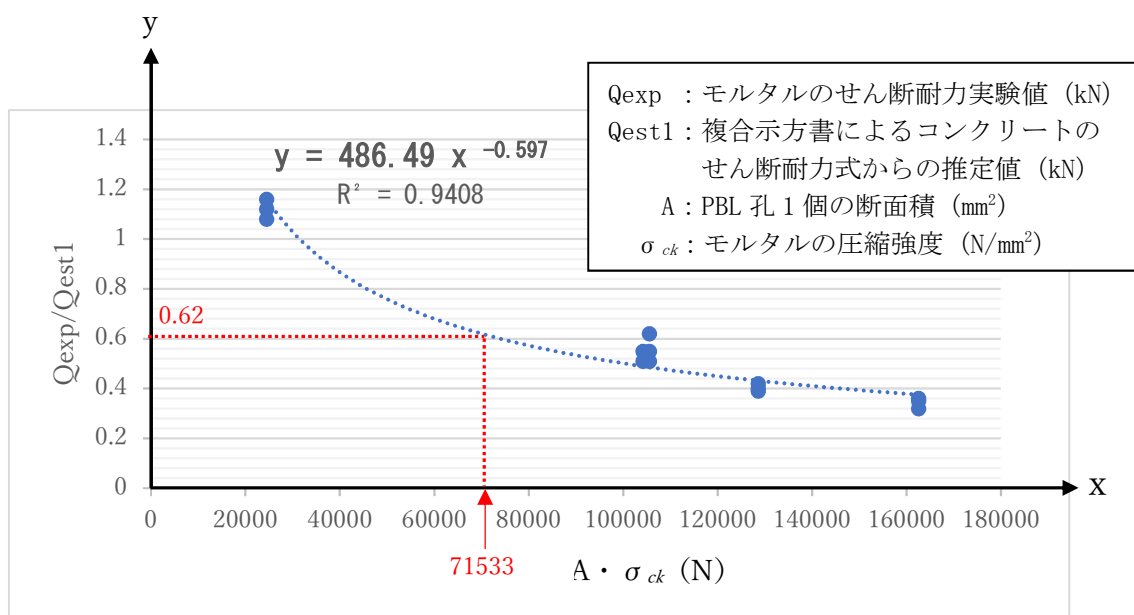


図-3.6.17 モルタルを用いた場合のせん断耐力関係式

本照査では、孔あき鋼板ジベルの孔の径を 45mm としており、また、モルタル強度の特性値は $\sigma_{ck(m)} = 45 \text{ N/mm}^2$ であるため、図-3.6.17 の横軸は、 $A \cdot \sigma_{ck} = 71533 \text{ N}$ となる。

従って、図-3.6.17 の縦軸は、 $Q_{exp}/Q_{est1} \approx 0.62$ となる。

これより、実験結果に基づくモルタルのせん断耐力については、コンクリートのせん断耐力にモルタルのせん断耐力の低減率 (0.62) を乗じて計算すればよいことになる。

(c) PBL 孔の照査

PBL 孔の形状や間隔については、構造細目を考慮して決定しているが、特に、PBL 孔に作用する橋軸方向引張力、つまり、PBL 孔に作用する 2 面せん断力とそのせん断力による鋼板の安全性については、「複合構造標準示方書 Ⅱ原則編・Ⅱ設計編 2014 年制定 土木学会」に準じている。

なお、PBL 孔に作用するせん断耐力は、コンクリートの終局耐力として、式-3.6.7 により算出できる。

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

ただし、 $35\text{mm} \leq d \leq 90\text{mm}$ 、 $12\text{mm} \leq t \leq 22\text{mm}$ 、 $24\text{N/mm}^2 \leq f'_{cd} \leq 57\text{N/mm}^2$ の範囲にある事になっている。

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 の計算では、 γ_b は、1.3 と 1.0 の両方で計算している。

ここで、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は 0.62 となっているが、本照査では、式-3.6.7 に低減係数 ρ を用いて修正した式-3.6.8 を用いて、モルタルのせん断耐力を計算することとしている。

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

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 $\rho = 0.5$ として設計することとした。

次に、PBL 孔のモルタルが負担する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 孔に伝達されるものと仮定して安全側の照査を行っている。

従って、PBL 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-3.6.18 に示すように、各孔の橋軸方向引張力の分担分を担うものとして、設計では、その最大引張力としてのせん断力を計算している。なお、PBL 孔の配置は、構造細目より決められた配置としている。

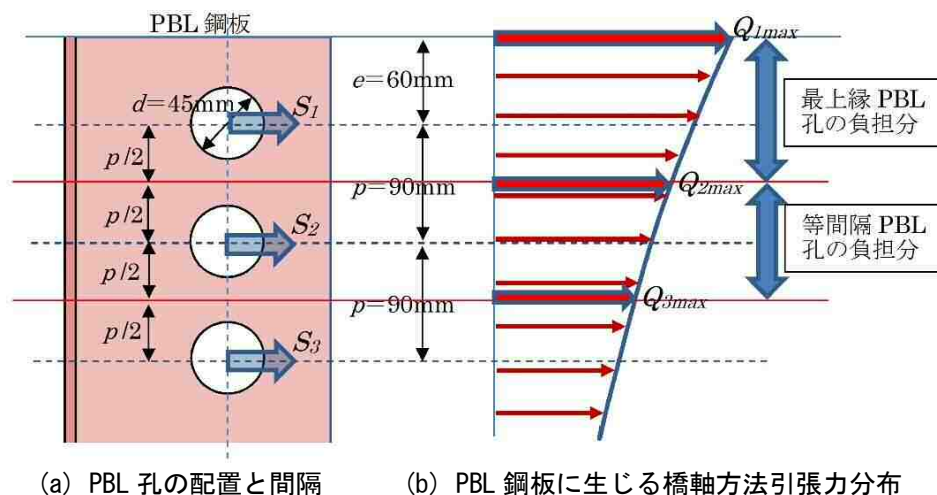


図-3.6.18 PBL 孔 1 個あたりの橋軸方向引張力の分担範囲と負担分の関係

この場合、各 PBL 孔に作用する橋軸方向引張力、つまり 2 面せん断力の分担分については、安全側を考慮し、各 PBL 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 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。

$$S_1 = Q_{1max} \cdot (e + p/2) \geq S_2 = Q_{2max} \cdot p \geq S_3 \quad \dots \dots \dots \text{式-3.6.9}$$

以上より、照査で用いる PBL 孔の作用せん断力は、 $S_1 = Q_{1max} \cdot (e + p/2)$ とする。

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設計では、引張鉄筋の作用応力度に対し、許容応力度を 1.5 倍した応力度の限界値以下とする設計としている。

そのため、PBL 孔を照査する場合の終局荷重作用時の作用せん断耐力は、式-3.6.10 で照査している。

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

これまでの照査方法を基に、照査を行った結果、表-3.6.9 の通りとなり、孔あき鋼板ジベルは安全であることを確かめている。

表-3.6.9 PBL 孔に関する照査結果

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	作用せん断力を用いた 終局せん断力 (N)	
ρ	D (mm)	f'_{cd} (N/mm ²)	γ_b	V_{psud} (N)		終局せん断力 (式-3.6.10) (N)	作用せん断力 (S_I) (N)
0.5	45	45	1.0	72,900	$\geq$ OK	21,420	10,710
0.5	45	45	1.3	56,077	$\geq$ OK	21,420	10,710

6) PBL 鋼板の安全性照査

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_I) に対して、PBL 鋼板に作用する応力度が安全であることを確認している。

(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) が挿入された溝には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) には、基本的には、PBL と充填モルタルの界面の付着が切れないと仮定した照査を行っている。

ここでは、PBL 鋼板そのものの安全性を確認している。

具体的には、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) の作用せん断力) 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考えられるため、ここでは、その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 鋼板と周囲のモルタルとの付着が切れたとし、PBL 孔に充填された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としたシェル構造を図-3.6.19 に示す。

この場合、PBL 孔に作用させる荷重については、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し、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解析している。

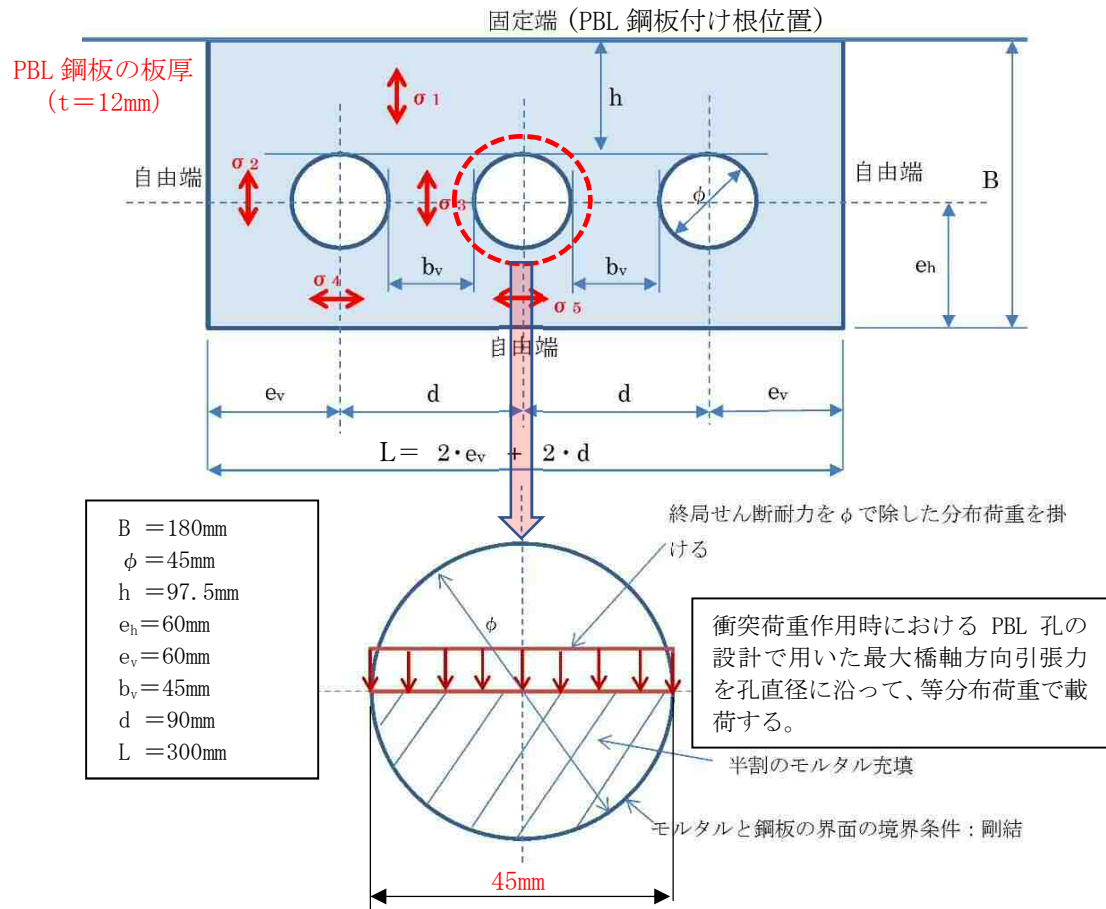


図-3.6.19 解析モデルの構造、境界条件及び荷重の載荷方法

(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 周辺の補強鉄筋の照査

(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、この補強鉄筋の照査方法は、以下の通りとしている。

- ① 補強鉄筋は、図-3.6.20 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の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 鋼板の引き抜きに抵抗するとし、その力が PBL 鋼板外側の壁高欄部材に作用すると考える。この時の設計対象構造は、図-3.6.20 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 構造の片持ち梁である。
- 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した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-3.6.20 の青の点線を設計断面として RC 構造の部材として設計する。

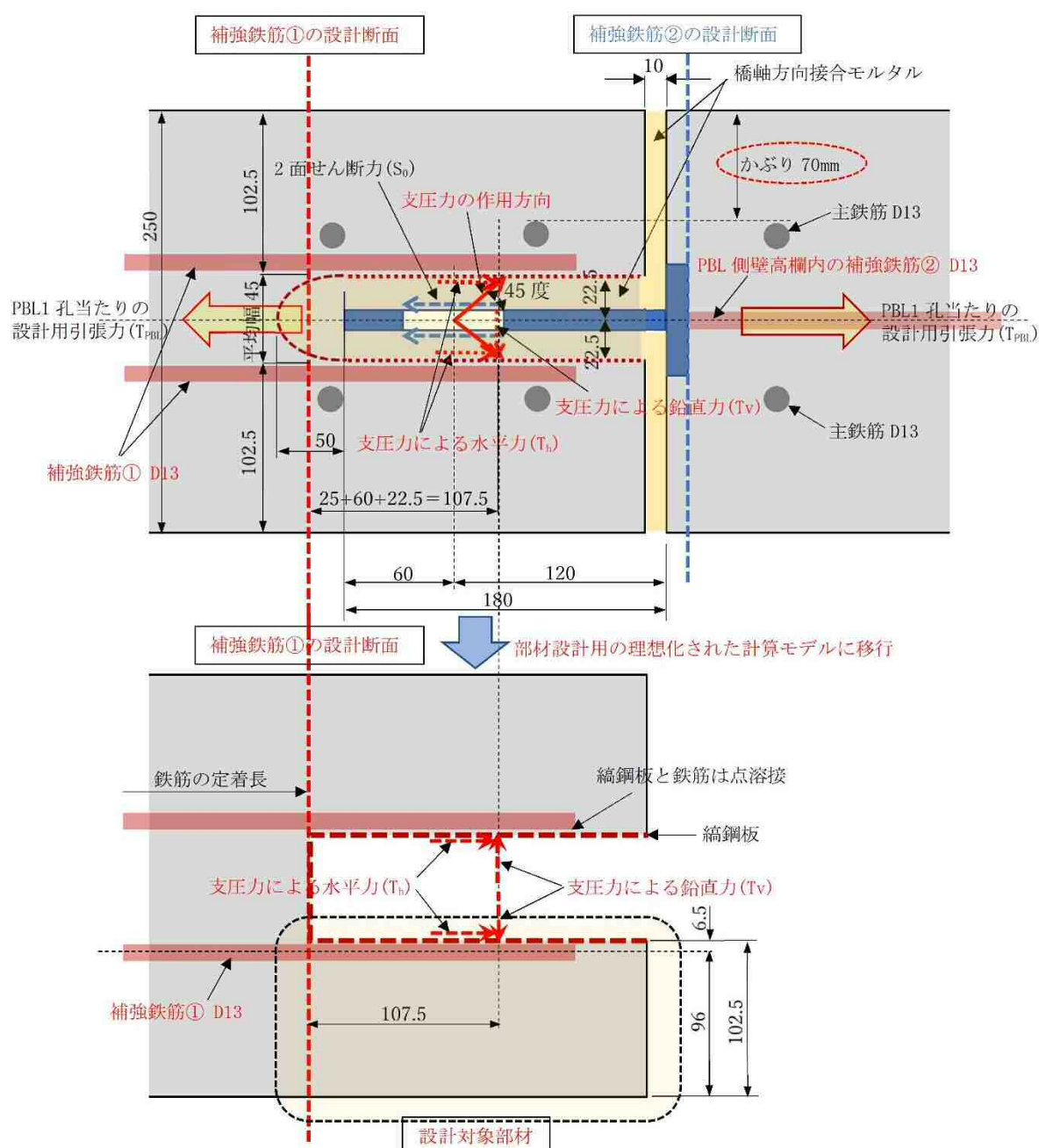


図-3.6.20 設計対象とする補強鉄筋の設計上の配置と設計対象部材

(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、図-3.6.20 に示す照査方法を基本として、図-3.6.21 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。

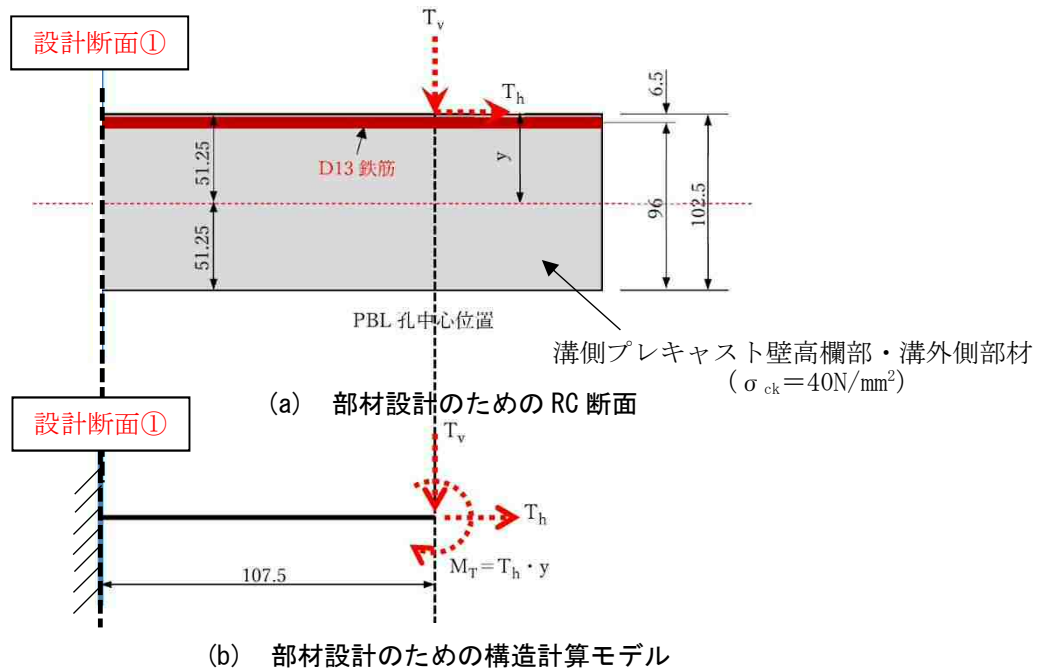


図-3.6.21 部材設計に用いる RC 断面と構造計算モデル

部材照査に用いた設計応答値は、以下の通りである。

- ・ 橋軸方向引張力 : $T_h = 5.355 \text{ kN}$
- ・ 曲げモーメント : $M = M_T + T_v \times 0.1075 \text{ m}$
 $= 0.850 \text{ kN} \cdot \text{m}$
- ・ せん断力 : $T_v = 5.355 \text{ kN}$

照査の結果、補強鉄筋に作用する設計応答値が限界値を下回っており、安全性が確認されている。

8) 補強鉄筋②の照査

(a) 照査方法

補強鉄筋②の照査については、図-3.6.22 に示す通り、PBL 側壁高欄の中心に配置される鉄筋について照査するものである。

衝突荷重作用時の補強鉄筋の設計では、橋軸方向継手部（引張側の充填モルタルを無視した部分）の PBL 鋼板付け根には、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の照査としては、せん断力を無視した曲げ・軸力部材として照査している。

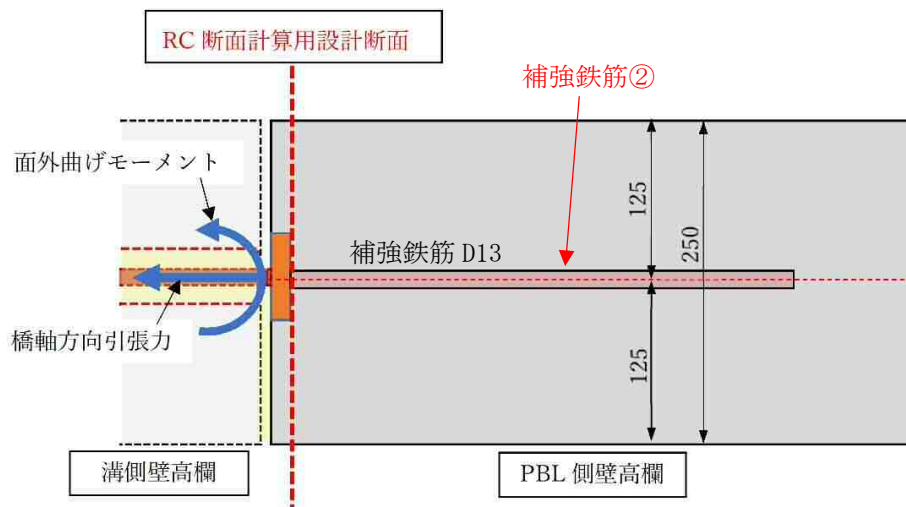


図-3.6.22 PBL 側壁高欄の補強鉄筋②の設計用 RC 断面計算モデル

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、鋼板天端の最大断面力が下方にも連続して作用すると考える。

従って、補強鉄筋②の照査のための部材寸法は、図-3.6.23 に示す通り、PBL 鋼板天端から 310mm とし、その範囲に D13 鉄筋を 3 本配置する。

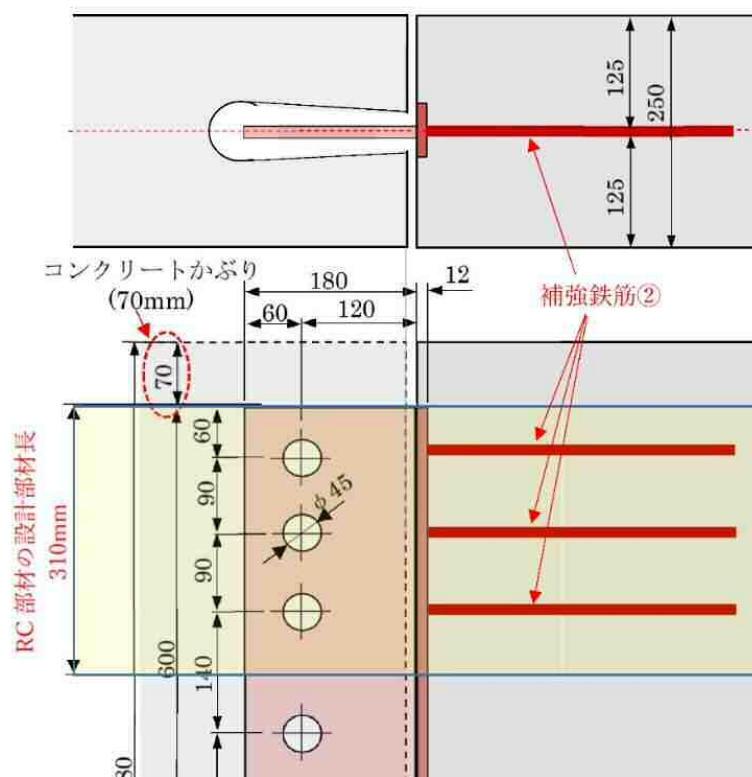


図-3.6.23 補強鉄筋②の設計範囲と補強鉄筋の配置

(b) 補強鉄筋の照査及び結果

RC 断面としての部材照査の結果、設計応答値が限界値を下回り、補強鉄筋の安全性が確認されている。

9) 鉄筋の定着長

補強鉄筋①及び補強鉄筋②は、コンクリート強度が $\sigma_{ck}=40 \text{ N/mm}^2$ のプレキャスト壁高欄内に定着されるため、鉄筋の定着長は、引張を受ける照査断面からの定着長として満足させている。

10) PBL 鋼板付け根の溶接の照査

(a) 照査方針

図-3.6.24 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。

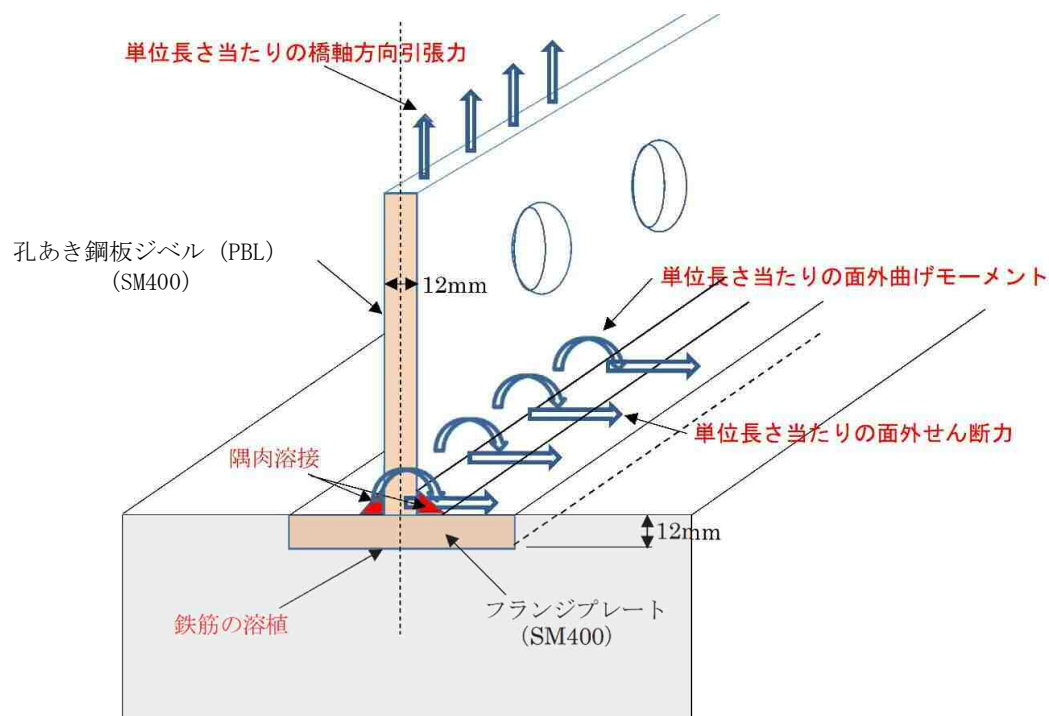


図-3.6.24 溶接設計のための溶接の種類及び方向と作用断面力の関係

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、面外変形の影響が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、溶接部の PBL 鋼板に作用する単位長さ当たりの橋軸方向引張力、単位長さ当たりの面外曲げモーメント及び単位長さ当たりの面外せん断力を考慮して設計している。なお、設計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) 隅肉の照査

隅肉溶接の照査は、「鋼道路橋設計便覧」を参照しており、隅肉溶接の脚長、サイズ及びのど厚の関係を図-3.6.25 に示す。

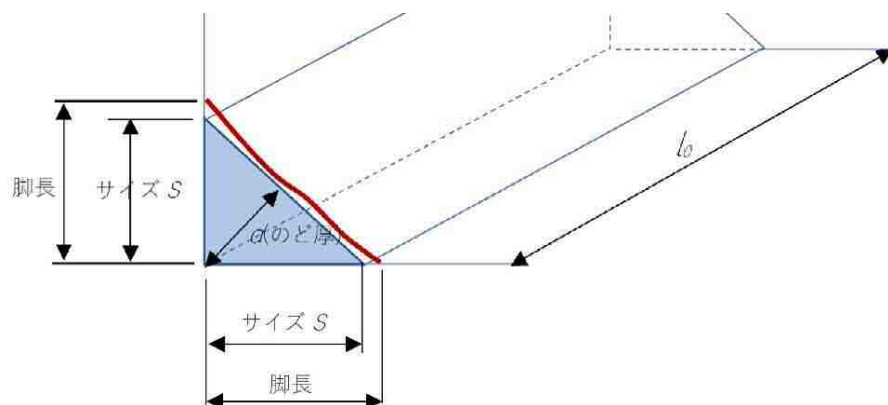


図-3.6.25 隅肉溶接の脚長、サイズ及びのど厚の関係

ここに、サイズ S : 道路橋示方書では、 $\sqrt{2 \times t_{max}} \leq S \leq t_{min}$ かつ $S \geq 6\text{mm}$ とある。従って、 S を計算すると、 $\sqrt{2 \times 12\text{mm}} \leq S \leq 12\text{mm}$ で、 $4.9\text{mm} \leq S \leq 12\text{mm}$ となり、 $S \geq 6\text{mm}$ の規定を考慮し、 $S=6\text{mm}$ とする。

理論のど厚 : $a = \sqrt{2} \cdot S / 2 = 4.243\text{mm} \Rightarrow 4.3\text{mm}$ とする。

有効長 : $l = l_0 = 600\text{mm}$ (フロリダ型 SB タイプの場合の溶接長さ)

のど面積 : のど厚 $\times$ 有効長 $= 4.3\text{mm} \times 600\text{mm} \times 2 = 5,160\text{mm}^2$

(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が作用する場合の応力度の照査は、式-3.6.11 で照査できる。

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

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は、以下の式-3.6.12で照査できる。

$$\tau_s = \frac{S}{\sum a \cdot l} \leq \tau_a \quad \dots \dots \dots \text{式-3.6.12}$$

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、曲げモーメント及び軸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。

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

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、十分安全が確保できている。

以上、使用性の照査として、DAK 式壁高欄の「(1) 床版とプレキャスト壁高欄との接合部の照査」及び「(2) プレキャスト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を述べた。

DAK 式壁高欄の構造詳細は、これらの照査結果に基づき決められている。

3.7 構造細目

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 使用性の照査」の表-3.6.6 及び図-3.6.9 に示した通り、NEXCO の「設計要領第二集 橋梁建設編 6-116 参考図」に記載されている本数と段数を配置すればよい。

ここに、再度、上記「参考図」に従った DAK 式壁高欄に配置されている鉄筋本数及び段数を表-3.7.1 及び図-3.7.1 にそれぞれ示す。

表-3.7.1 鉄筋の配置

種別	縦方向鉄筋 (遮音壁高さ $H \leq 5\text{m}$)	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。

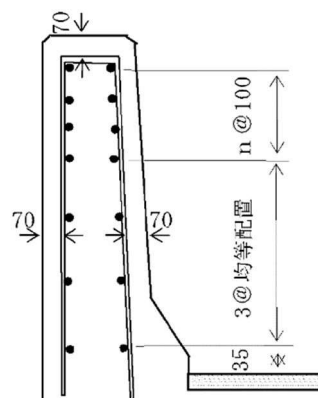


図-3.7.1 横方向鉄筋の配置図

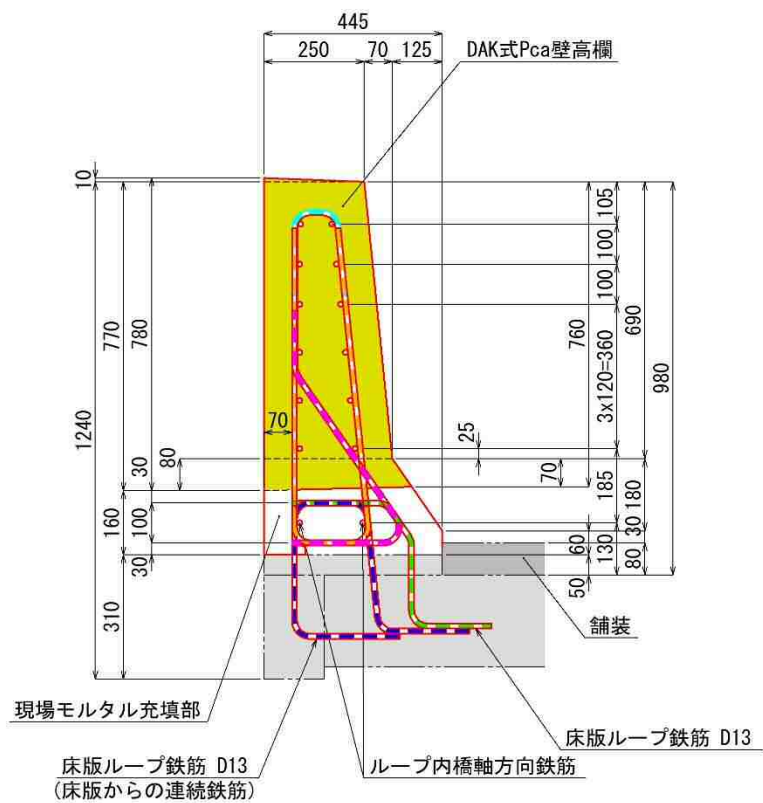
但し、床版とプレキャスト壁高欄の接合部においては、上記の鉄筋（プレキャスト壁高欄側に配置された鉄筋と床版側に配置された鉄筋）をそれぞれループ鉄筋継手とすればよい。

3.7.2 プレキャスト壁高欄部材の形状

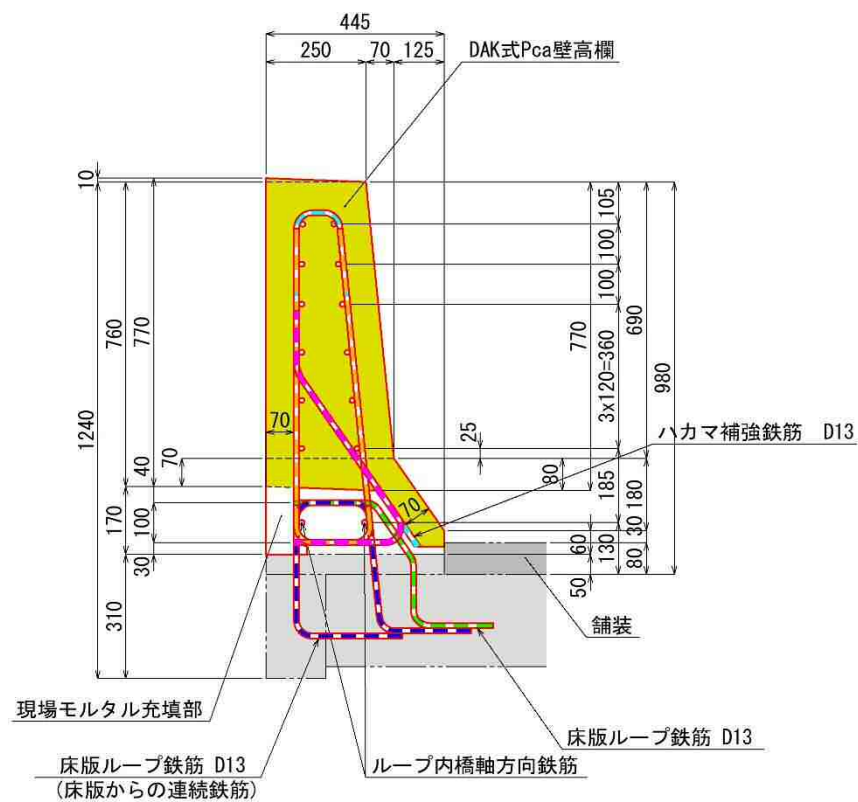
(1) プレキャスト壁高欄下端の形状（勾配）

DAK 式壁高欄におけるプレキャスト壁高欄部の下端の形状（勾配）は、ループ鉄筋継手の接合部に充填するモルタルの施工方法によって決められる場合が多い。

図-3.7.2 に DAK 式壁高欄の接合部を含めた断面図の例を示す。



(a) 前面に袴を設けない一般的な場合の例



(b) 前面に袴を設けた場合の例

図-3.7.2 プレキャスト壁高欄下端の形状

図-3.7.2 から分かるように、壁高欄の前面に袴を設けない(a)の場合は、モルタル充填時エア抜きを、基本、壁高欄前面から行うため、プレキャスト壁高欄下面の勾配を右肩上がりとしているのに対し、(b)の場合は、壁高欄前面に袴を設けているため、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、プレキャスト壁高欄下面の勾配を左肩上がりとしている。

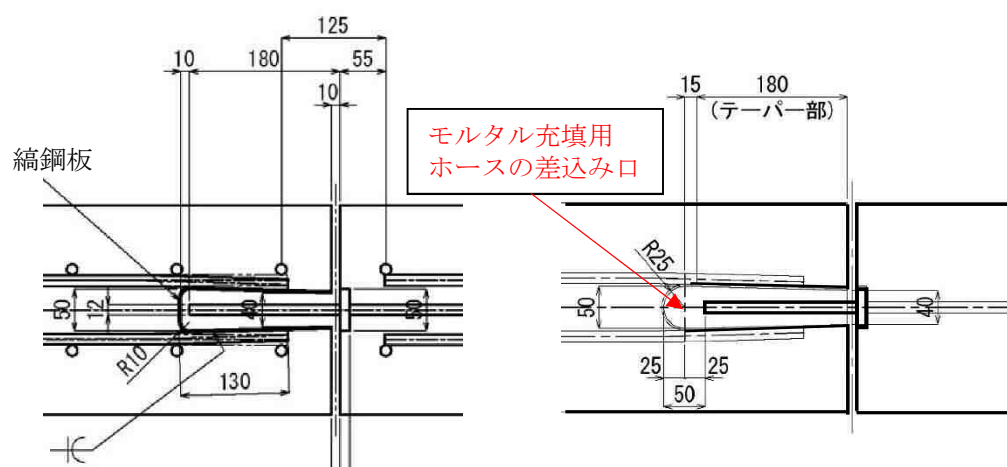
壁高欄前面に袴を設ける構造については、「第6章 DAK 式壁高欄の標準化」で詳述している。

(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、接合モルタルの充填を PBL 接合部から行う場合と、そうでない場合、つまり、床版とプレキャスト壁高欄接合部の前面あるいは背面から行う場合についての形状を図-3.7.3(a)に示す。

図-3.7.3(b)の PBL 鋼板の背面が丸くなっている部分が、モルタル充填時に充填用ホースを差し込む所であり、この部分については、溝内に配置されている縞鋼板の形状も丸く加工している。

DAK 式壁高欄では、接合モルタルの充填方法によって、どちらの溝側壁高欄の形状を採用しても良いとしている。



(a) 充填ホース挿入を考慮しない場合

(b) 充填ホース挿入を考慮した場合

図-3.7.3 溝側壁高欄の溝の形状寸法

3.7.3 コンクリート床版とプレキャスト壁高欄の接合

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プレキャスト壁高欄側に配置されるループ鉄筋のそれぞれの継手長の最小高さは、図-3.7.4 に示すように、 $h_m=100\text{mm}$ としている。これは、接合モルタル充填時間の短縮策のためで、接合部断面積を小さく抑えることによって、現場施工となるモルタルの充填時間を短縮させようとするものである。

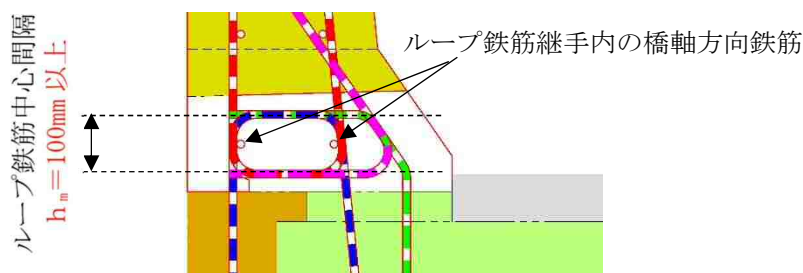


図-3.7.4 DAK 式壁高欄の場合のループ鉄筋継手長

なお、このループ鉄筋継手長は、継手長に要求される規定を満足していないが、DAK 式壁高欄の場合、衝突安全性確認試験にて、接合部の安全性を確認しているため、この継手長を満足すれば良いとしている。

また、ループ鉄筋継手内に配置する橋軸方向鉄筋は、図-3.7.4 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本配置されていれば良いとしている。こちらの配置についても、衝突安全性確認試験にて、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

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されている。

DAK 式壁高欄の場合、孔あき鋼板ジベルの設計は、PBL 孔に充填されるモルタルの2面せん断耐力によって設計されるため、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 鋼板の各寸法の構造細目は、孔あき鋼板ジベルの設計方法に準じて図-3.7.5 に示す寸法を決定する必要があり、表-3.7.2 に示す最小必要寸法として決定している。

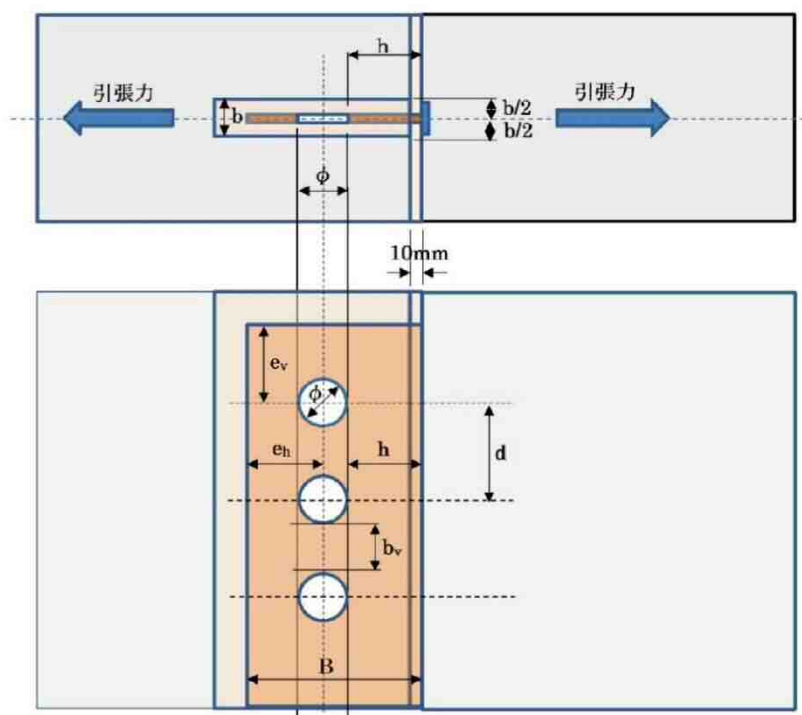


図-3.7.5 DAK 式壁高欄の場合のループ鉄筋継手長

表-3.7.2 孔あき鋼板ジベル及び PBL 鋼板の各寸法に関する構造細目

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

DAK 式壁高欄の橋軸方向接合部における PBL 鋼板については、PBL 側壁高欄との一体化を目的として、PBL 側壁高欄に配置されたフランジプレートとの隅肉溶接によって一体化を図っている。

隅肉溶接の詳細については、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として、図-3.7.6 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 で良いとしている。

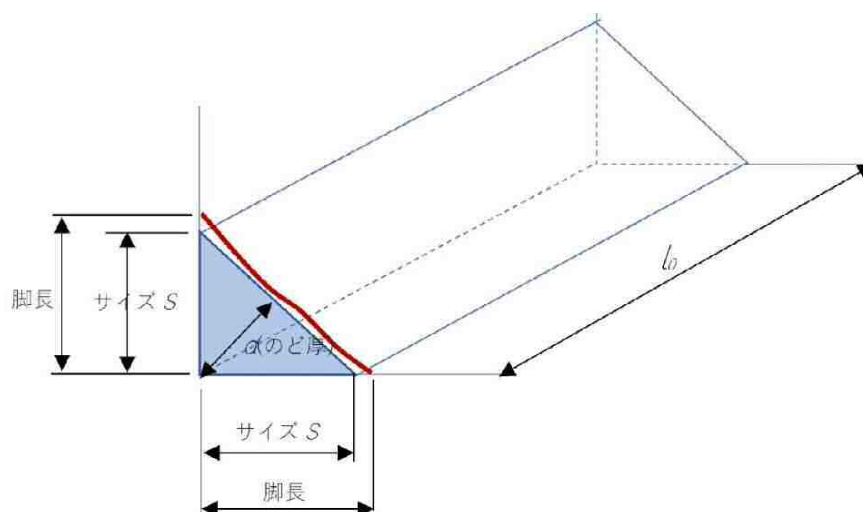


図-3.7.6 PBL 鋼板とフランジプレートとの隅肉溶接の寸法

3.7.6 PBL 鋼板周りの補強鉄筋の配置

DAK 式壁高欄の PBL 鋼板周りに配置される補強鉄筋の設計としては、溝側壁高欄内に配置される補強鉄筋と PBL 側壁高欄内に配置される補強鉄筋の設計がある。

なお、溝側壁高欄内の補強鉄筋については、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、また、縞鋼板に部分溶接された補強鉄筋の配置等を勘案して、1本の鉄筋を曲げて配置しているが、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。



- 47 -

3.7.7 プレキャスト壁高欄同士の接合

DAK 式壁高欄では、図-3.7.8 に示すように、橋軸方向の配置については、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（PBL 鋼板配置位置）において、橋軸方向の壁高欄同士の間隔を設計上 10mm としている。

なお、縦断線形、平面線形等の線形状、あるいは、施工上において、10mm で配置できない場合は、その間隔を別途検討してよい。

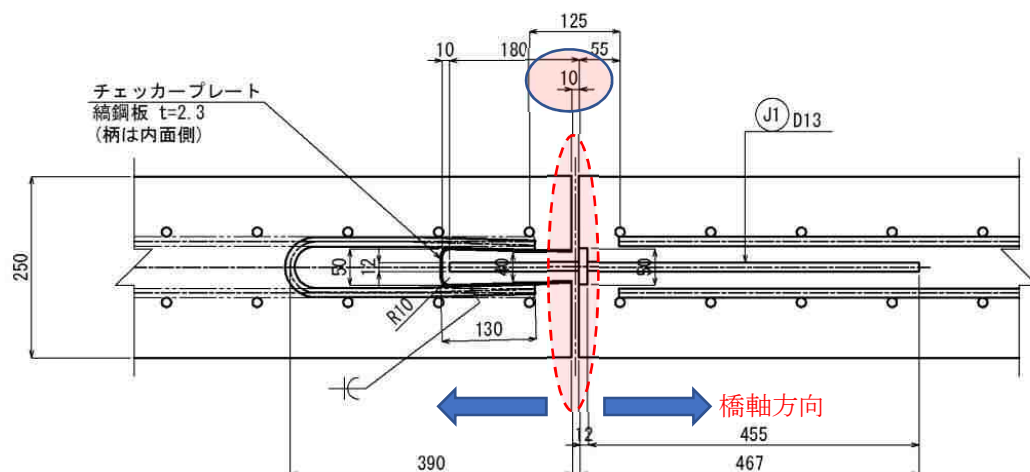


図-3.7.8 プレキャスト壁高欄同士の間隔（平面配置）

3.7.8 プレキャスト壁高欄の縦断線形に対する配置

DAK 式壁高欄では、プレキャスト壁高欄の製作を、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-3.7.9 に示すように、プレキャスト壁高欄の下端面は、床版面に平行に配置している。

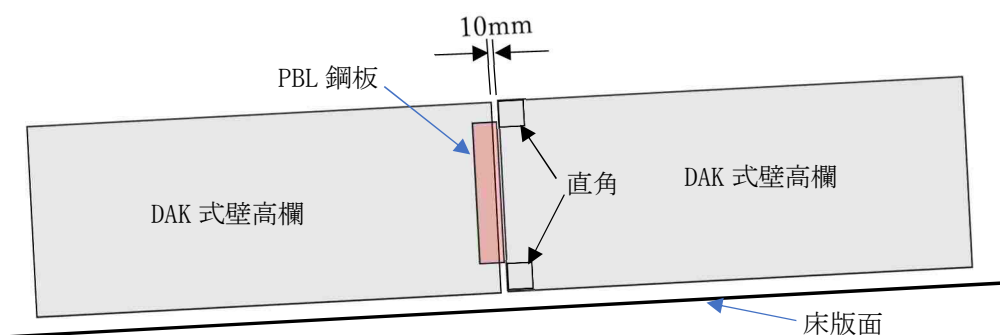


図-3.7.9 プレキャスト壁高欄の縦断線形に対する配置

ここで、壁高欄同士の接合面が、常に垂直になるようにプレキャスト壁高欄を製作する場合には、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はない場合には、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、矩形に製作することを基本としている。

3.7.9 プレキャスト壁高欄と場所打ち壁高欄の接合

橋梁支点部の伸縮装置のある部分やプレキャスト壁高欄の割付け時の調整部分等、プレキャスト壁高欄と場所打ち壁高欄を接合する箇所が生じる。この場合の接合部は、基本、連続構造になる場合が多い。

この場合の接合方法は、基本、以下の二つの方法が考えられる。

- ① 場所打ち壁高欄と接合するプレキャスト壁高欄の端面から、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。この場合、プレキャスト壁高欄から突出させる橋軸方向鉄筋の突出長さは、重ね継手長を満足させる長さが必要である。
- ② 場所打ち壁高欄と接合するプレキャスト壁高欄の端面側は、孔あき鋼板ジベルを有する PBL 側壁高欄とし、この PBL の孔に鉄筋を配置して場所打ち壁高欄と一体化させる方法である。この方法の実績例を写真-3.7.1 に示す。

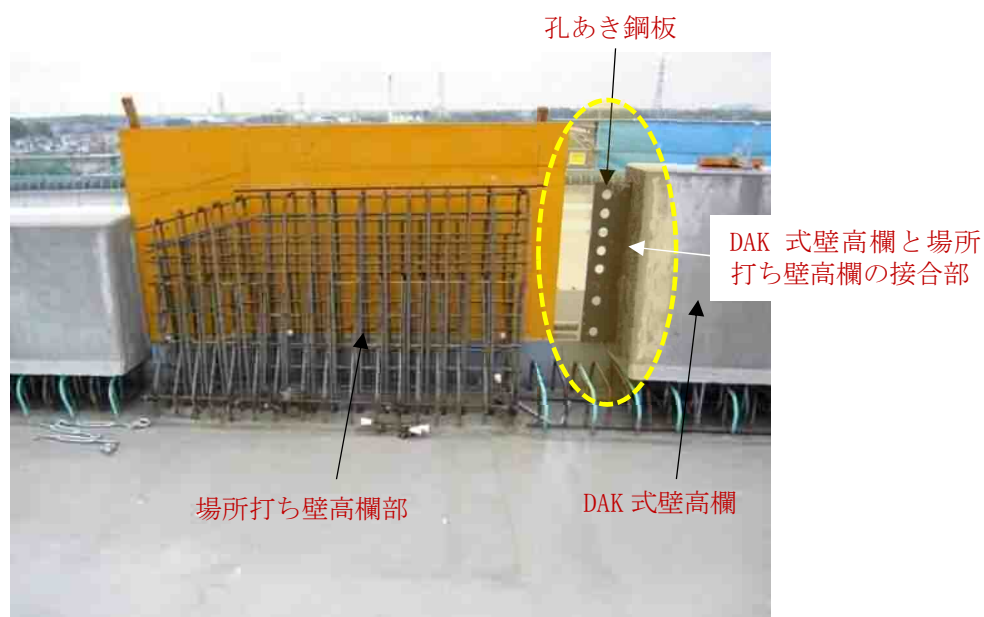


写真-3.7.1 DAK 式壁高欄と場所打ち壁高欄の接合例

3.7.10 通信管路の配置

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

DAK 式壁高欄の場合、溝側壁高欄には、「第 2 章 DAK 式壁高欄の特徴」でも示したように、縞鋼板が配置されるため、通信管路の配置は、基本、縞鋼板と主鉄筋の間のスペースと考えている。

通信管路の配置例を、標準断面に対して、図-3.7.10 に示すが、この場合は、VE54 菅を 3 条、VE42 あるいは S51 菅を 1 条配置した例である。

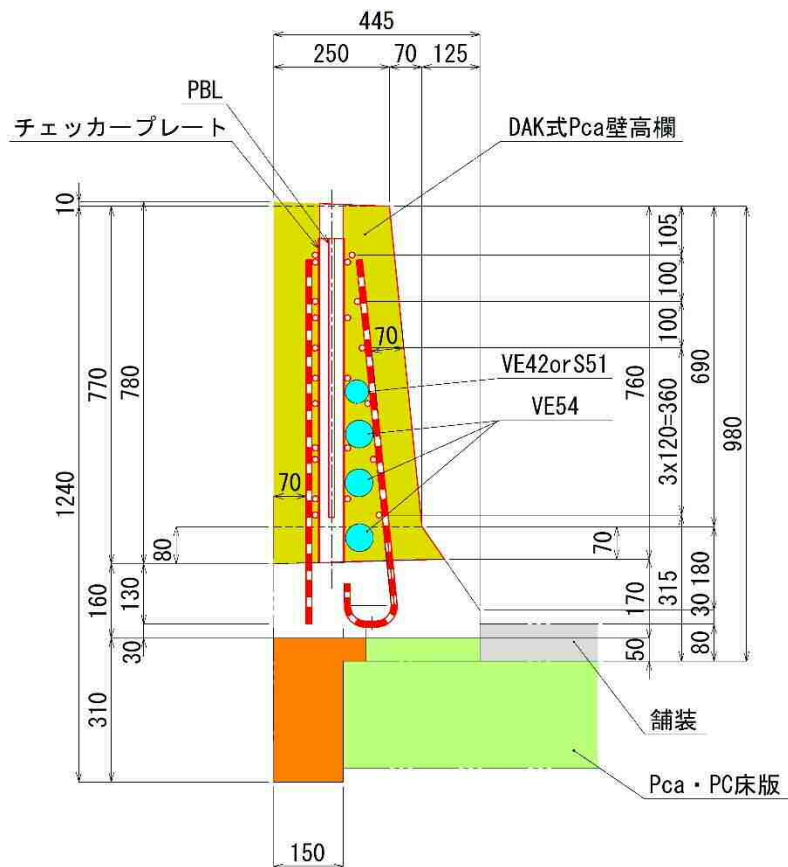


図-3.7.10 通信管路の配置例

3.8 プレキャスト壁高欄の割付け

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等を考慮して、偶数となるブロック長さとし、4.0m のブロック長を基本とする。

但し、橋梁の平面線形への対応、更新用の床版取替用のプレキャスト 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、2.0m のブロック長さへの対応も必要である。しかしながら、ブロック長さは、偶数長さを基本としている。

標準的には、偶数長さを基本としているが、長さ調整等の必要性に応じ、端数の長さのブロックを製作する必要がある場合は、その限りでは無い。

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実績例を写真-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

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ればよい。

一方、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、製作上の端尺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性が生じる。

この場合のプレキャスト壁高欄と場所打ち壁高欄の接合については、前述の「3.7.8 プレキャスト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。

4.1.2 隅角部の面取り

プレキャスト壁高欄の部材各端部の面取りは、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。

製品の下端部は、図-4.1.2 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よい。

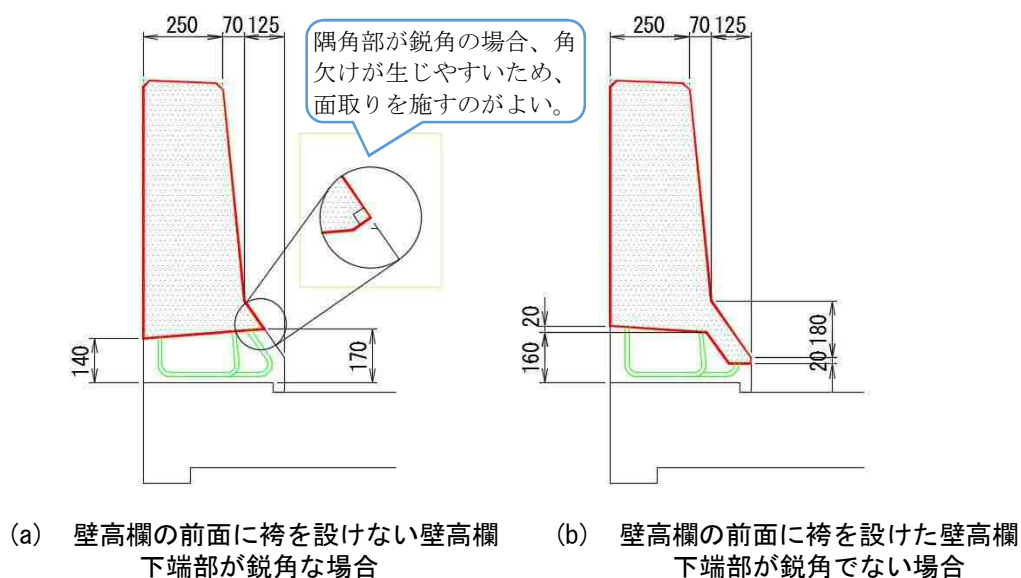


図-4.1.2 製品下端部の形状例

4.2 鉄筋と型枠の組立て

4.2.1 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、貯蔵及び型枠設置時に変形が生じないように、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-4.2.1 に、鉄筋ユニットのストック状況例を写真-4.2.2 に示す。



写真-4.2.1 鉄筋組立て状況例



写真-4.2.2 ストック状況例

4.2.2 配筋の許容誤差

鉄筋の間隔、径及び最小かぶりが設計図どおりであることを確認する。

ここで、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-4.2.1 に示す。

表-4.2.1 鉄筋の組立ての許容誤差

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

4.2.3 付属物の取付け

遮音壁などの付属物を取り付くことが多いため、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。

遮音壁のアンカーの設置例を写真-4.2.3 に示す。



写真-4.2.3 遮音壁アンカーの設置例

4.2.4 型枠の組立て

側型枠は、片面を先行して組み立てる。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 やインサートなどを取り付ける。所定のかぶりを確保できるように、モルタル製スパーサを側面 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。

型枠の組立て手順例を写真-4.2.4 から写真-4.2.7 に示す。



写真-4.2.4 片側の側型枠の組立て



写真-4.2.5 鉄筋ユニットのセット



写真-4.2.6 吊インサートの配置



写真-4.2.7 反対側の側型枠の組立て

4.3 コンクリートの品質と配合

4.3.1 品質

コンクリートは、早強ポルトランドセメントをベースに高炉スラグ微粉末を添加し、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-4.3.1 に示す品質を有するものを使用する。

表-4.3.1 コンクリートの品質

項 目	品 質
圧縮強度	40N/mm ² 以上
高炉スラグ微粉末	単位結合材量（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

4.3.2 示方配合

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。

4.4 コンクリートの打込み及び養生

4.4.1 コンクリートの打込み

コンクリートの打込みは、鉄筋や付属物の移動及び材料分離が生じないように留意して行う。その施工状況例を写真-4.4.1に示す。

締固めは、コンクリートが鉄筋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 埋設部まわりと、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-4.4.1 打込み状況例

4.4.2 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、かつ満足な品質が得られるように、養生の方法と期間を決める。

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-4.4.2に示す。



写真-4.4.2 蒸気養生状況例

4.5 製品の取出し及び接合面の処理

4.5.1 製品の取出し

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/mm²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。

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/mm²を目安とするのが望ましい。

製品の取出し状況例を写真-4.5.1に示す。



写真-4.5.1 製品の取出し状況例

4.5.2 小口面及び打継ぎ面の処理

プレキャスト壁高欄の両側小口面の処理は、現場施工となる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-4.5.2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-4.5.2 小口面の洗出し状況例

4.6 仮置き保管

4.6.1 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、立置き保管例を写真-4.6.1に示し、平置き保管例を写真-4.6.2にそれぞれ示す。



写真-4.6.1 立置き保管状況例



写真-4.6.2 平置き保管状況例

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る。また、インサートや吊金具などの汚れは取り除いておく。

4.6.2 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、PBLや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、壁高欄としての接合部の耐久性確保の観点から、エポキシ樹脂塗装されるのが一般的で、また、露出鋼材（PBL鋼板等）については、接合部の耐久性確保の観点から、亜鉛メッキ塗装が有効である。

4.7 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-4.7.1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-4.7.1 寸法の許容誤差

項 目	許容値
厚さ	±5mm
高さ	-10mm～+20mm

4.8 運搬、搬出

製品の運搬・搬出にあたっては、プレキャスト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。

プレキャスト壁高欄の吊上げ、運搬に際しては、製品に大きな曲げやねじれが生じないように、支持点の位置や支持方法を決定する。また、堅固に転倒防止を施すとともに、部材に角欠けなどの損傷を与えないように注意する。

図-4.8.1には、4mの標準ブロック（SB種）の重量が2.5tf以下のため、10tトラックに4ブロックを立積み積載した場合の例を示す。

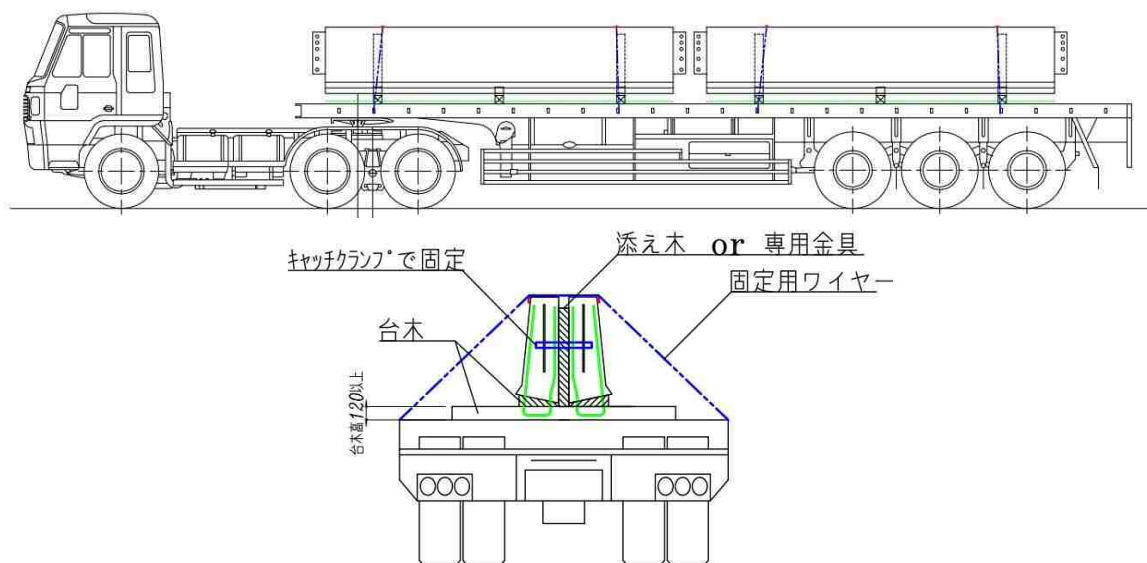


図-4.8.1 製品運搬時（立積み時）の荷姿例

第5章 施 工

5.1 準備工

5.1.1 現地の確認

現場での建込みに先立ち、施工の延長や施工場所の状況を確認する。

写真-5.1.1 は、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、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 プレキャスト壁高欄の搬入計画

工場にて製作したプレキャスト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。

搬入荷姿例（立積み例）を図-5.1.1 に示す。

プレキャスト壁高欄の建込みを円滑に行うため、プレキャスト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、プレキャスト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。

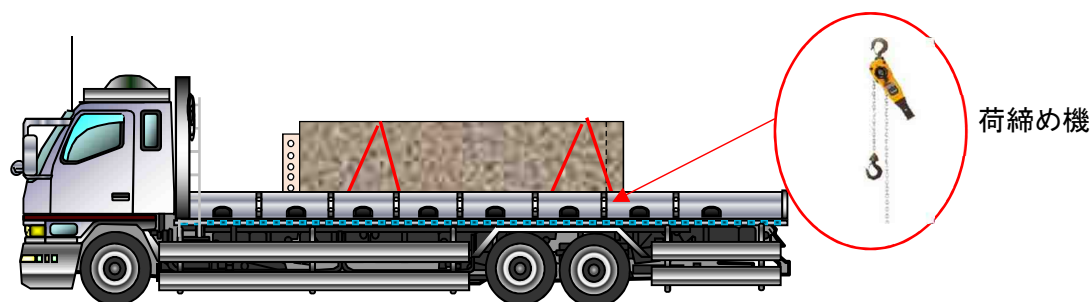


図-5.1.1 搬入荷姿例（立積み例）

5.2 プレキャスト壁高欄の荷下し及び建込み

5.2.1 プレキャスト壁高欄の荷下し

プレキャスト壁高欄の荷下しで使用する吊上げ治具の例を写真-5.2.1 に、荷下し状況の例を写真-5.2.2 にそれぞれ示す。

写真-5.2.1 に示す吊上げ治具の例は、プレキャスト壁高欄の天端に取り付ける方法であるが、側面に埋め込んだインサートを使う方法などもある。



写真-5.2.1 吊上げ治具の例



写真-5.2.2 荷下し状況例

5.2.2 プレキャスト壁高欄の建込み

プレキャスト壁高欄の建込みに先立ち、小口面の片側に写真-5.2.3 に示すようなクッション材を貼り付ける。これは、後で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り、また、プレキャスト壁高欄内に通信管路を配置する場合には、写真-5.2.4 に示すように、パッキン材等を貼り付ける対策が必要である。



写真-5.2.3 クッション材の貼付け例



写真-5.2.4 パッキン材の貼付け例

プレキャスト壁高欄の建込み状況例を写真-5.2.5 に示す。

製品は、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。



写真-5.2.5 建込み状況例

製品の落とし込み設置では、床版側に配置したループ鉄筋と製品側に配置したループ鉄筋が接触しないよう、写真-5.2.6 に示すように慎重に誘導する。

また、ループ鉄筋同士の干渉を避けるためには、橋軸方向の移動に制約があるため、写真-5.2.7 に示すように、基本的には、製品の PBL 側を製品の溝側に落とし込むのがよい。



写真-5.2.6 誘導状況例



写真-5.2.7 PBL側の落込み状況例

5.2.3 高さ調整及び仮固定

高さ調整の方法には、クレーンを使う方法やジャッキを用いる方法などがあるが、この場合、基本的には、高さ調整用のボルトを用いて高さ調整するのが一般的である。

この高さ調整用のボルトの設置例を写真-5.2.8 に示す。



写真-5.2.8 高さ調整用のボルトの設置例

ここで、ジャッキを用いた場合の高さ調整の例を写真-5.2.9 に示す。また、目地部で幅員方向に凹・凸がないよう、写真-5.2.10 に示すような方法などで通りの確認を行う。

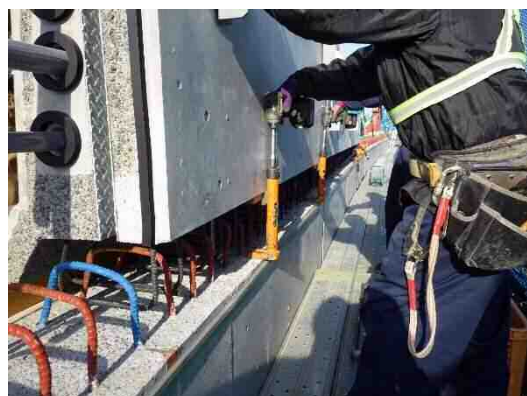


写真-5.2.9 ジャッキによる高さ調整例



写真-5.2.10 通りの確認例

また、設置寸法の許容誤差は、表-5.2.1 に示すとおりで、許容誤差以内であることを確認した後、すみやかに写真-5.2.11 に示すような仮固定を行う。

表-5.2.1 設置寸法の許容誤差

項 目	許容値
設置標高	-10 mm～+20 mm
幅 員	設計値以上



写真-5.2.11 仮固定の状況例

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

床版とプレキャスト壁高欄との接合部に充填するモルタルは、高耐久接合モルタルである「リペアメント NS TYPEⅡ」を用いる。

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、J₁₄ 漏斗の流下時間が 8±2 秒を満足するように練混ぜ水量を調整する。

なお、圧縮強度及び付着強度の物性値は、試験値の例である。物性値の詳細は、「第 2 章 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 TYPEⅡ」の使用量

1 袋あたりの使用量			モルタル 1m ³ あたり使用量 (25 kg×75 袋)	
リペアメント NS (kg)	水 (kg)	練上り量 (ℓ)	リペアメント NS TYPEⅡ (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 TYPEⅡ」の物性

フレッシュ性状の 目安	圧縮強度 (N/mm ²)			付着強度 (N/mm ²)
J ₁₄ 漏斗 (秒)	3 日	7 日	28 日	28 日
8±2	64.5	75.9	86.8	3.0

5.3.2 試験練り

本練りに先立ち、 J_{14} 漏斗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 TYPE II」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 には、 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

モルタル材充填時に漏れないよう、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、型枠下部にはクッション材等を挿入する等、モルタルの漏れ防止対策が必要である。

写真-5.4.1 に、養生テープの貼付け例を示す。



写真-5.4.1 養生テープの貼付け例

プレキャスト壁高欄の下端部には、「第4章 4.1.2 隅角部の面取り」の図-4.1.2の(a)及び(b)に示すような形状があり、その形状に合わせて、(a)の場合は、**写真-5.4.2**、(b)の場合は、**写真-5.4.3**に示すようにそれぞれ型枠を設置する。型枠は、パイプサポート、チェーン、ターンパックル等で堅固に固定する。



写真-5.4.2 前面袴が無い場合の設置例



写真-5.4.3 前面袴が有る場合の設置例

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モルタル材「リペアメント NS TYPE II」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き、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。



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 混練り状況例



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。

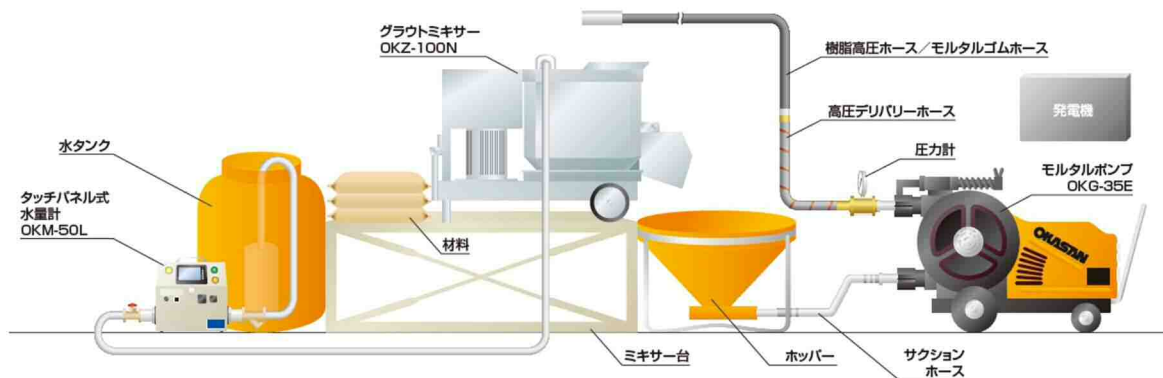


図-5.5.1 本練りのシステム例

5.6 モルタル材の充填

モルタル材の充填方法として、2つの方法を例示する。

5.6.1 モルタル材を圧入する方法

モルタル材を圧入する方法は、一般的に、「第4章 4.1.2 隅角部の面取り 図-4.1.2 (a)」に示した壁高欄の前面に袴を設けない場合に採用される。

- ① 型枠に予め設けた圧注口に $\phi 38$ 程度の軟質塩化ビニルホースを設置する。
- ② 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に、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、写真-5.6.1 に示すように慎重に圧入を行う。
- ③ 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ため、写真-5.6.2 に示すように、ビニルホースの結束線、番線などを開放する。



写真-5.6.1 モルタル圧注例



写真-5.6.2 水頭圧掛け状態

5.6.2 モルタル材を流下する方法

モルタル材を流下する方法は、一般的に、「第4章 4.1.2 隅角部の面取り 図-4.1.2(b)」に示した壁高欄の前面に柵を設けた場合に採用される。

- ① ホースの筒先を、写真-5.6.3に示すように、プレキャスト壁高欄接合部天端のPBL接合部の溝部から挿入し、モルタル材を流下させてループ継手接合部を横流れさせる。
- ② 隣接する溝部まで横流れしたら、その溝部にホースを移動し、その次の溝部まで横流れさせ、順次繰り返す。
- 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-5.6.4に示すように、透明型枠の使用などがある。



写真-5.6.3 モルタル注入例



写真-5.6.4 透明型枠の設置例

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

モルタル材の型枠脱型、後片付け後の完成状況の例を写真-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

NEXCO では、鋼橋のコンクリート床版の劣化に伴い、橋梁の更新事業を進めている。

その中で、橋梁の更新では、急速施工対応として、コンクリート床版撤去後、プレキャスト PC 床版を架設して、壁高欄を施工する工法が採用されている。

ここで、壁高欄の施工においては、工期の関係から、場所打ち壁高欄が採用される場合、あるいは、更なる工期短縮策として、プレキャスト壁高欄が採用される場合がある。

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ものである。

6.1 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、図-6.1.1 に示すように、片ライン（下り線）を撤去後、プレキャスト PC 床版を施工して、その後、壁高欄を施工する標準的な工程として比較する。

また、壁高欄の施工については、図-6.1.2 に示すように、片ラインの片側壁高欄とする。

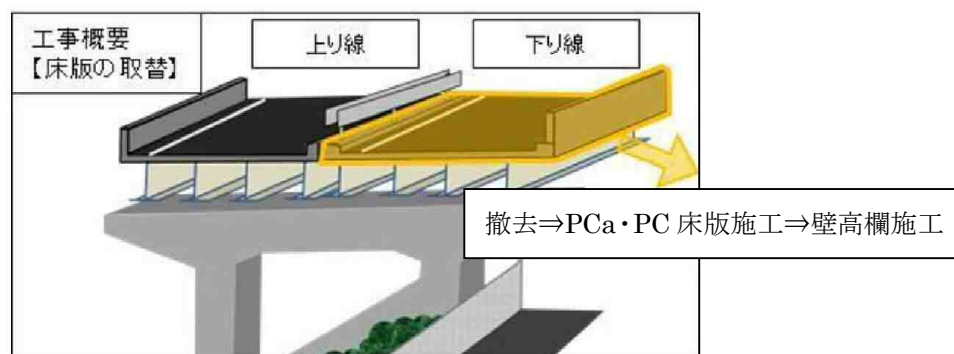


図-6.1.1 標準施工工程算出のための施工図例

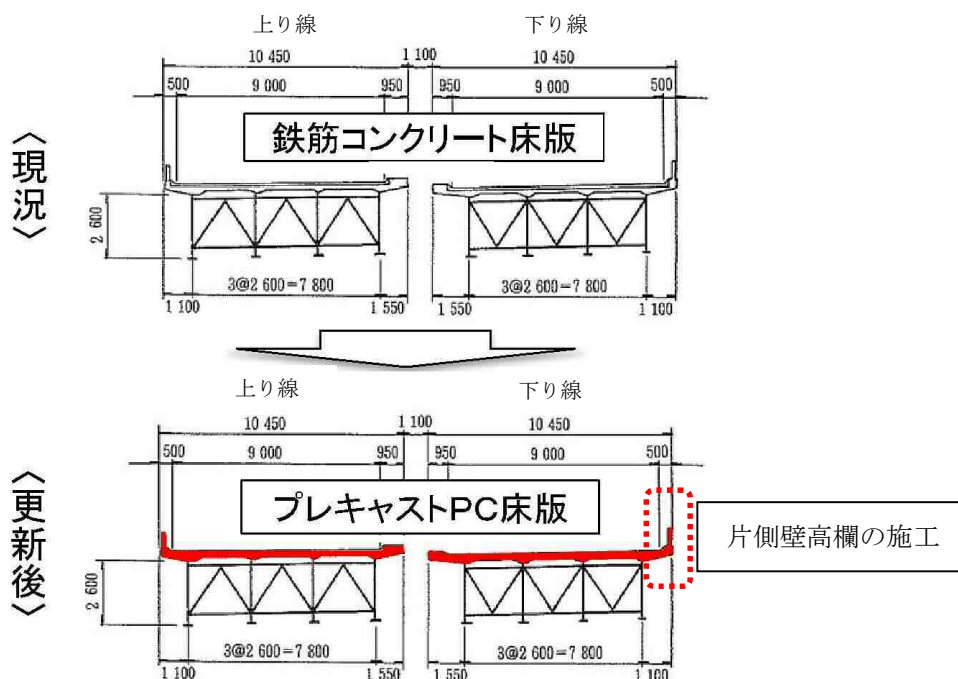


図-6.1.2 標準施工工程算出対象壁高欄

6.2 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-6.1.2に示したように、以下の条件とした。

- | | |
|--------------------|---------------------------|
| ① 新設か更新か | : 更新 |
| ② 床版形式 | : プレキャスト 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 | : 橋梁床版が先行して出来上がっている |
| ⑤ 壁高欄の施工長 | : 150m (片ラインの片側) |
| ⑥ DAK 式壁高欄 1 体の基本長 | : 4.0m |
| ⑦ 壁高欄の重量 | : 1 体当たり 2.5tf 以下 |
| ⑧ 施工条件 | : 昼間作業 (8 時間と仮定) 1 班体制 |
| ⑨ DAK 式壁高欄の配置 | : 1 体 4.0m ブロックを端部から並べていく |

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する。

6.3 標準施工工程の比較

6.3.1 DAK 式壁高欄の標準施工工程

DAK 式壁高欄の場合、片ライン片側 150m 施工の場合の標準施工工程は、概ね、表-6.3.1 の通りとなる。

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-6.3.1 標準施工工程 (橋長 150m、片ライン片側の壁高欄施工延長 150m の場合)

工 種 \ 日 数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
プレキャスト壁高欄部材搬入	■	■																
高さ調整用ボルト等金具設置	■	■																
プレキャスト壁高欄建込・仮固定		■	■	■														
接合部の型枠・鉄筋配置		■	■	■	■	■												
接合部・モルタル充填					■	■	■											
脱型・仕上・片付								■	■									

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-6.3.1 より、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、プレキャスト壁高欄の搬入開始後、ほぼ 8 日で施工終了となる。

6.3.2 場所打ち壁高欄の標準施工工程

場所打ち壁高欄の場合、片ライン片側 150m 施工の場合の標準施工工程は、概ね、表-6.3.2 の通りとなる。

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-6.3.2 標準施工工程（橋長 150m、片ライン片側の壁高欄施工延長 150m の場合）

工 種 \ 日 数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
鉄筋配置	■	■	■	■														
型枠配置			■	■	■	■	■	■										
遮音壁アンカー配置						■	■	■										
コンクリート打設							■	■	■	■								
養 生										■	■	■	■					
脱型・仕上・片付													■	■				

表-6.3.2 より、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では、鉄筋組立開始後、ほぼ 13 日で施工終了となる。

6.4 標準施工工程に関する考察

ここでは、DAK 式壁高欄の標準施工工程と場所打ち壁高欄の標準施工工程を、桥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、壁高欄の施工自体、図-6.1.1 及び図-6.1.2 に示した通り、片ラインの片側壁高欄の施工に着目して比較した。

結果は、昼間作業の 1 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事が期待できる。

第7章 DAK 式壁高欄の標準化

7.1 標準化の方針

DAK 式壁高欄の標準化に向けて、基本的には、現場施工の省力化に向けての対策を検討しており、構造面、施工面より、基本的な方向性を示すものである。

以下に、その標準化に向けての基本方針を示す。

- ① 現場での接合モルタル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に向け、プレキャスト壁高欄前面にプレキャスト壁高欄と一体化となる袴を設けること。
- ② ループ鉄筋継手部の接合モルタルの充填施工では、橋軸方向接合部の PBL 継手部背面の上部から充填ホースを挿入し、施工出来るようにすること。
- ③ DAK 式壁高欄の橋軸方向継手として用いている鋼材（PBL 鋼板、フランジプレート及び縞鋼板）は、亜鉛メッキ塗装とすること。
- ④ 壁高欄背面のモルタル充填部の型枠は、基本、モルタルの充填状況が目視できるよう、透明型枠を用いること。
- ⑤ 床版との接合モルタル充填時に、壁高欄継手部の充填部に妻型枠を設置する場合は生じた場合、ループ鉄筋内の橋軸方向鉄筋を妻枠位置で不連続にすること。

以上の内容を標準化の基本方針とする。

7.2 標準化に向けた具体対策

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、最も重要なのが、現場の工期短縮に直結する現場での省力化施工に向けた対策である。

図-7.2.1 に、従来の DAK 式壁高欄の接合部の構造と、標準化の方針である袴付きの構造への対応について比較する。

図-7.2.1 から分かるように、壁高欄前面に袴を設けることにより、床版とプレキャスト壁高欄との接合部に充填するモルタル断面積が、従来の約 60% となり、断面内への充填量の削減に伴い、施工の省力化が図れるとともに、施工スピードのアップに繋がる。

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（例として、図の緑の着色部）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、プレキャスト壁高欄と床版との接合面が下に下がって、この接合部が橋面防水工の範囲内に入るため、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、水分の浸透を防ぐことができ、耐久性向上に繋がる。

7.2.2 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鋼材である 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、基本、亜鉛メッキ塗装を標準とする。

7.2.3 施工方法

施工方法に関する標準化の方針は、以下の通りである。

(1) 透明型枠の採用

DAK 式壁高欄の標準化の基本方針の④で述べたが、図-7.2.1 (a) の標準化接合構造の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、壁高欄前面側については、床版とプレキャスト壁高欄の接合部の充填高さが小さいが、型枠設置は、基本、木製型枠か鋼製型枠が一般的である。

一方、壁高欄背面側については、モルタル充填の確認が目視で出来るように、透明型枠を用いることを標準とした。

DAK 式壁高欄の場合、構造的弱点になり易いのが接合部であり、特に、この接合部に充填されるモルタルと床版あるいはプレキャスト壁高欄の界面が一体構造として機能することが求められるため、接合部にモルタルが完全に充填されなければならない。

このためには、特に、壁高欄前面に桁を設けた構造の場合、モルタル充填時のモルタルの充填状況を確認することが重要で、そのため、写真-7.2.1 に示すように、壁高欄背面には、透明型枠を設置して充填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 壁高欄背面での透明型枠の設置例

(2) 接合モルタル充填部の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、壁高欄と床版の接合部内へのモルタル充填において、プレキャスト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。

この事により、妻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、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性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、その安全性を確認している。

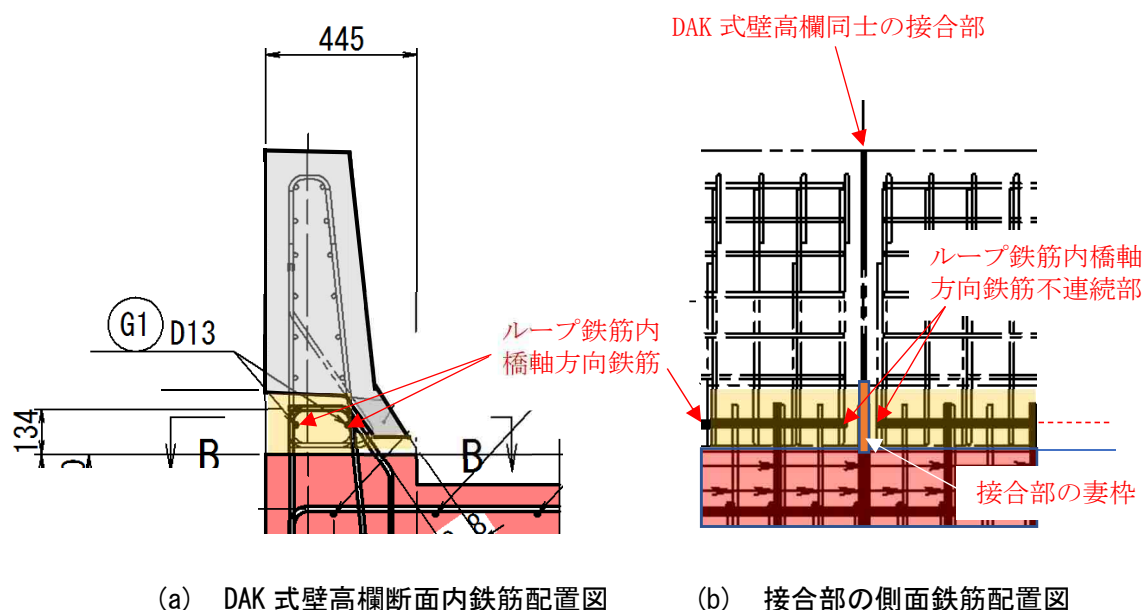


図-7.2.3 接合部のループ鉄筋継手内に配置される橋軸方向鉄筋の不連続配置図

(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車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、ミキサー車と充填用ポンプを増やせば良いと考えられる。

しかしながら、各現場によって、接合モルタルの施工条件が異なるため、適切なミキサー車と充填用ポンプの台数と配置計画が必要である。

一方、DAK 式壁高欄システムでは、モービル車を使った接合モルタルの充填も可能としており、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、工費等を勘案した最適な充填計画が必要である。

【参考資料】

DAK 式壁高欄に関する発表論文

DAK 式壁高欄に関する発表論文は、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

ここでは、上記 1) の論文を掲載する。

プレキャスト壁高欄の新たな接合工法の開発

青木 圭一¹・上平 謙二²・田中 嘉一³・高木 絹華⁴

¹正会員 (株)高速道路総合技術研究所 道路研究部 橋梁研究室長 (〒194-8508 東京都町田市忠生1-4-1)

E-mail:k.aoki.ab@ri-nexco.co.jp

²正会員 (株)デイ・シイ 技術センター長 (〒210-0854 神奈川県川崎市川崎区浅野町1-17)

E-mail:uehira_kenji@dccorp.jp

³正会員 開発虎ノ門コンサルタント(株) 第一技術部(〒170-0005 東京都豊島区南大塚 3-20-6)

E-mail:y.tanaka@kckk.co.jp

⁴正会員 開発虎ノ門コンサルタント(株) 第二技術部(〒170-0005 東京都豊島区南大塚 3-20-6)

E-mail:takagi@kckk.co.jp

既設道路橋の防護柵改築に先立ち、急速施工ならびに高品質化に着眼し、コンクリート製防護柵としては他に類を見ない、プレキャスト化とその接合工法の新規開発を行った。解決すべき接合構造は、①既設床版と壁高欄基部と②壁高欄同士の接合部があるが、本稿では後者の的を絞り、細目決定までの経過を報告する。基本構造は、孔あき鋼板ジベルを有する部位（オス側）を縞鋼板からなる箱断面内（メス側）に挿入し、高強度モルタルを充填して一体化を図る。車輛衝突荷重による発生断面力に対して、孔あき鋼板ジベルが抵抗し、所定の安全性を確保する。設計断面力は、孔あき鋼板ジベルを模擬したFEM解析より直接的に算定する手法を採用したが、モデル化の範囲、境界条件、荷重載荷条件等の妥当性を確認するため、現行設計基準との整合確認（模型載荷実験の復元解析）、平板理論との比較等を行った。また、発生断面力の分布特性に応じたジベル孔の配置検討を行い、接合構造の設計に反映させた。

Key Words : precast concrete railing, rapid construction, joint, perfobond shear connector, FEM

1. 開発の背景と構造概要

モータリゼーションの発展により、防護柵に関する設計基準も時代の要請に応じて所要の改訂が行われてきた。竣工時には、当時の安全基準を満たしていた壁高欄も、現在では要求性能に満たないケースも少なくない。加えて、老朽化した壁高欄も目立ってきており、交通安全上重要な施設の1つである壁高欄の適切な対応が求められている。

道路橋の壁高欄は、一般に、現場打ちコンクリートで構築され、その補修・補強も現場打ちが主体的であったが、近年では、安定した品質、強度、耐久性の向上、省力化、工期短縮、施工環境改善等を考慮して、JIS工場で作製されるプレキャスト製の壁高欄によって行われる場合もある。しかし、これら従来の接合工法では、既設床版を貫通させた鉛直接合ボルトや、壁高欄内に配置したPC鋼材の緊張作業などが伴い、施工性や経済性だけでなく、既設構造に与える影響等に課題があった。

筆者らは、これら課題を解決すべく、プレキャスト壁

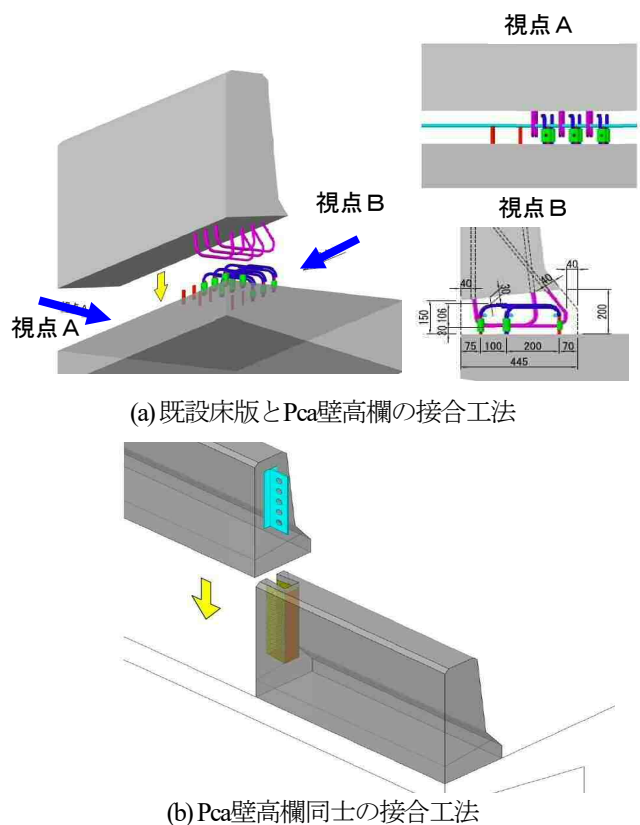


図-1 新規に開発した接合工法のイメージ

高欄の接合工法を新規に開発した。①床版と壁高欄基部との接合方法(図-1(a))は、床版上面に配筋された機械継手式鉄筋とプレキャスト壁高欄の矩形ループ鉄筋を重ね合わせ、かつ、それらのループ鉄筋内に連続する複数の補強鉄筋を配置し、高強度モルタルを打設して一体化する構造である。②壁高欄同士の接合方法(図-1(b))は、

孔あき鋼板ジベル（以下、PBLと呼ぶ）を有する部位（オス側）を縞鋼板からなる箱断面内（メス側）に挿入し、高強度モルタルを充填して一体化を図る構造である。

当工法の開発により、既設床版への削孔作業やPC鋼材の緊張作業を伴わない強固な接合工法を提供でき、主に道路橋の壁高欄の新設や補修・補強を目的とした壁高欄の取替えを効率的かつ容易に実現できる。

本稿では、②壁高欄同士の接合工法に焦点を絞り、構造細目の決定までの経過を報告する。

2. 橋軸方向の接合構造（PBL）の設計思想

Pca壁高欄同士の接合工法、即ち橋軸方向の接合部の設計は、車両衝突荷重によって発生する橋軸方向の断面力（曲げ引張力：図-2）に対して、PBLがずれ止めとして抵抗し、所定の安全性を確保すればよいと考えられる。

PBLに作用する断面力の算定は、PBLを模擬した3次元FEM解析を実施し、接合部に発生する断面力を直接的に算定する方法を採用した。なお、これらの設計手法の妥当性を確認するため、現行設計基準との整合確認および平板理論での断面力算定結果との比較を行った。これらの検討経過を3.に記述する。

3. 解析手法の妥当性の検証

FEM解析による接合構造の設計を実施する前に、まず、衝突荷重の静的荷重への換算、モデル化範囲、境界条件など解析手法の妥当性を検証するものとした。

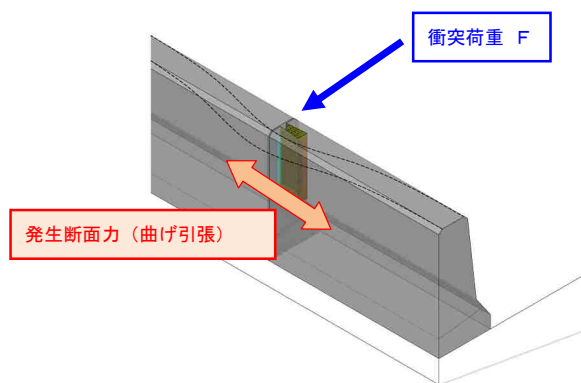


図-2 橋軸方向の発生断面力の概念

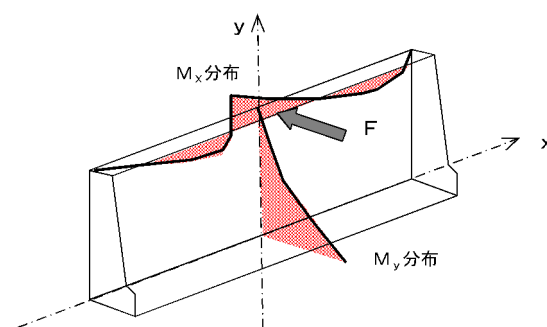


図-3 壁高欄の設計曲げモーメントの分布図

(1)現行設計基準

現行設計基準の車両用防護柵標準仕様・同解説¹⁾では、車輛の衝突によって壁高欄部材に発生する断面力は、式(1)～(2)より定義されている。壁高欄の上部に衝突荷重(F)が作用した場合の曲げモーメントの最大値は、高さ方向では荷重載荷点直下の固定端で、道路軸方向では荷重載荷点の自由辺上で発生する。(図-3)

a)高さ方向のモーメント (M_y)

$$M_y = F \times L \times \alpha_R \times (1 - B/7.5) \quad (\text{kN} \cdot \text{m}) \quad (1)$$

ここに、

α_R : 縦（高さ）方向断面係数 = 0.5

F : 衝突荷重 (kN)

L : Fの作用位置から断面照査位置までの高さ (m)

B : 有効幅 = $2 \times L$ (m)

b)道路軸方向のモーメント (M_x)

$$M_x = F \times \beta_R \quad (\text{kN} \cdot \text{m}) \quad (2)$$

ここに、 β_R : 横（道路軸）方向断面係数 = 0.25

上記断面力算定式は、建設省土木研究所（当時）をはじめとする「高速化対応型コンクリート製防護柵に関する共同研究²⁾」に基づき設定されたものである。当共同研究では、コンクリート壁高欄の設計手法の確立を目的に、直壁の他、衝突面に傾斜がある単スロープ型およびフロリダ型が対象となっている。実車衝突実験（動的）ならびに静的載荷実験における構造体の変形挙動の結果と弾性FEM解析結果とを比較検討して、実際の衝突状況に即した局所的な衝撃荷重を考慮した設計手法を提案されるとともに、解析手法の妥当性もあわせて確認されている。さらに、衝突荷重を力積運動方程式から算出する方法が検討され、方程式によって導かれる衝突荷重とFEM解析結果との整合を図って衝突荷重推定の一般化（静的集中荷重としてのF値の設定）が行われている。

(2)土研共同研究で得られた知見の整理

a)検討概要

共同研究における検討モデルは、図-4に示すように、

$$q=24500\text{kN/m}^2\{2500\text{tf/m}^2\}(\Sigma P=980\text{kN}\{100\text{tf}\})$$

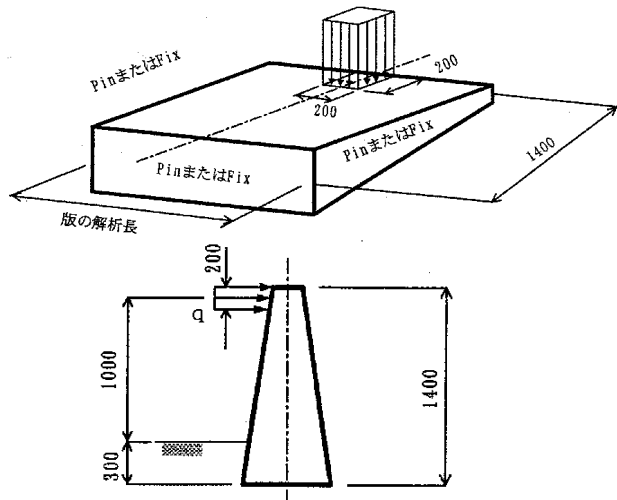


図-4 検討モデル (単位: mm) ²⁾

表-1 検討ケース

防護柵	三辺支持条件	版の解析長	備考
単スロープ型 F型	Pin - Fix	3m	$\Sigma P=980\text{kN}\{100\text{tf}\}$
		6m	
		9m	
	Fix - Fix	3m	
		6m	
		9m	
	Pin - Pin	3m	
		6m	
		9m	

(注) Pin - Fix: 両端ピン、下端固定
Fix - Fix: 両端固定、下端固定
Pin - Pin: 両端ピン、下端ピン

表-2 使用定数

防護柵	設計基準強度	弾性係数	ポアソン比
単スロープ型	$\sigma_{ck}=4.0\text{kN/cm}^2\{400\text{kgf/cm}^2\}$	$E_c=3.1\text{MN/cm}^2\{310\text{tf/cm}^2\}$	1/6
F型	$\sigma_{ck}=3.5\text{kN/cm}^2\{350\text{kgf/cm}^2\}$	$E_c=2.9\text{MN/cm}^2\{290\text{tf/cm}^2\}$	1/6

単スロープ型およびF型（フロリダ型）の壁高欄を3辺支持1辺フリーの変断面の版としてモデル化している。集中荷重は、その上方に20cm四方の範囲で、合計980(kN)に相当する等分布荷重を静的に载荷させている。

表-1にFEM解析の検討ケースを、表-2に計算に使用されたコンクリートの定数を示す。

b) FEM解析上の知見

上記の条件によるFEM解析で得られた荷重～ひずみ関係を静的载荷実験で得られた荷重～ひずみ関係と照合させることで、FEM解析結果の妥当性が確認され、下記の知見が得られている。

- ①単スロープ型とF型では、解析結果に差が見られない。
- ②3辺支持条件は、道路軸方向（Mx）はPin-Pin（両端ピン、下端ピン）、高さ方向（My）はPin-Fix（両端ピン、下端固定）とした場合が、静的载荷実験による荷重ひずみ関係とはほぼ一致した。
- ③版の解析長は、6m以上では長さを変えても結果に差

は見られない。

(3)復元解析による妥当性の検証

共同研究結果を踏まえ、筆者らも、これらの復元解析を行うことで、解析手法の妥当性を検証するものとした。

a)復元解析の諸条件

復元解析では、橋梁でよく用いられるF型（フロリダ型）壁高欄（図-5）を対象に、3辺支持1辺フリーの変断面の版としてモデル化し、シェル要素によるFEM解析を行った。

共同研究で得られた知見を基に、版の解析長はモデル化の範囲に影響を与えない6.0mとした。载荷条件は、合計980(kN)の等分布荷重を版の上方に20cm四方の範囲で载荷した。支持条件は、図-6に示すとおり、道路軸方向Mxの算定にはPin-Pin（両端ピン、下端ピン）、高さ方向Myの算定にはPin-Fix（両端ピン、下端固定）とした。

なお、左右対称であるため、荷重载荷位置センターより左側を解析領域とした。

断面力算定位置は、载荷実験のひずみ計測位置と対応させ、道路軸方向Mxの場合には横筋ひずみの実測位置（天端より16cm）、高さ方向Myの場合には縦筋ひずみの実測位置（天端より89cm）とした。（図-5と7）。

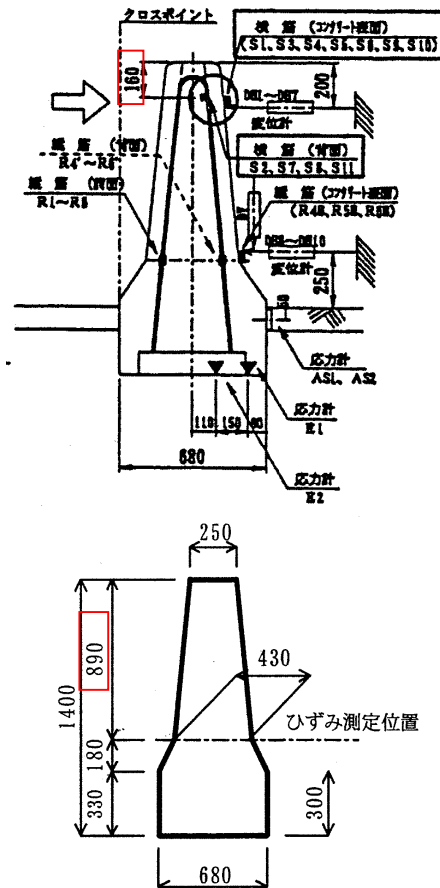


図-5 解析対象の形状及びひずみ測定位置
(横筋: 上図; 縦筋: 下図)

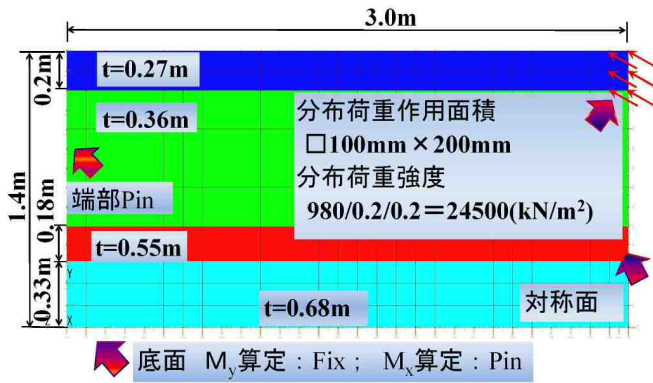


図-6 解析モデル図

表-3 土研共同研究の解析結果との比較

支持条件	方向	照査位置	曲げモーメント値(kN・m)		
			復元解析	共同研究	現行基準
Pin-Fix	道路軸(X)	図-7の①	-180.3	-181	-
	高さ(Y)	図-7の②	390.7	395	387.1
	高さ(Y)	図-7の③	228	200	-
	高さ(Y)	有効幅内の平均値	309.4	297.5	305.4
Pin-Pin	道路軸(X)	図-7の①	-244.5	-239	-245

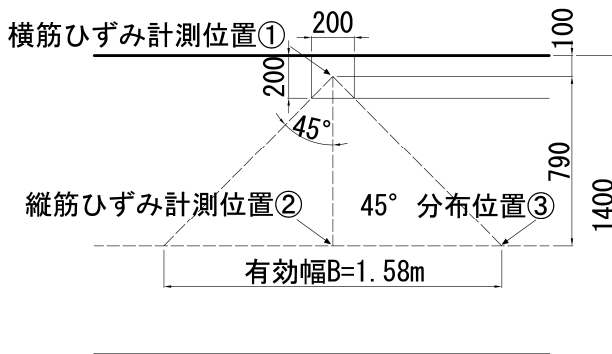


図-7 断面力算定位置図

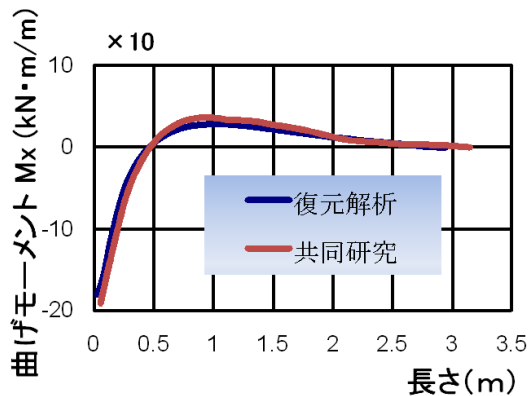


図-8 Pin-Fixの場合の道路軸方向曲げモーメント図

b)解析結果と考察

表-3、図-8～9に示すとおり、復元解析結果は、土研共同研究のFEM 解析結果および現行設計基準の一般式ともよく一致することが確認された。若干の差異がみられるが、微小な要素分割の差の影響と判断される。

以上の検証により、モデル化の範囲、境界条件、荷重条件等の基本的なモデル化の妥当性が確認できた。

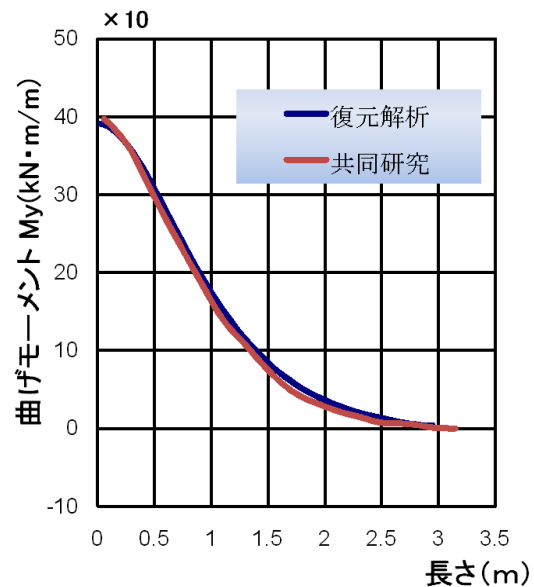


図-9 Pin-Fixの場合の高さ方向曲げモーメント図

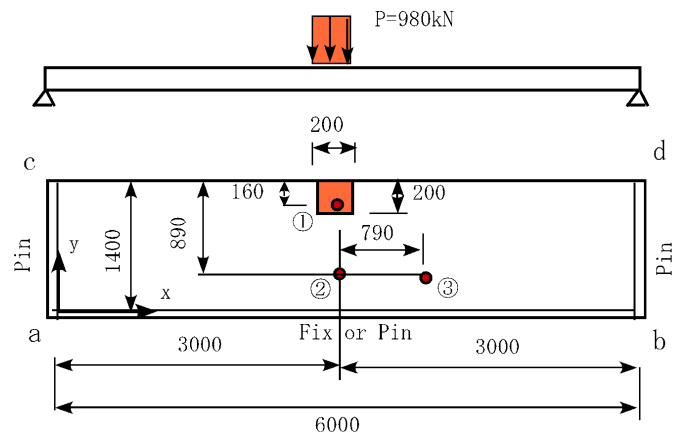


図-10 平板理論による解析モデル図

(4)平板理論との比較による妥当性の検証

前述一連のFEM 解析では、実際の壁高欄の版厚に即して変断面版（25～68cm）として解析を実施している。

一方、今回検討の対象としている壁高欄の辺長6.0mに対する版厚変化レベルでは、等厚・等方性版を前提とした平板理論（Kirchhoff-Love Theory: 通称 薄板理論）を用いた方法でも同様の解が得られるものと予測されたため、同条件下で平板理論による断面力算定を行った。

以下に、その結果とFEM解析との比較結果を示す。

a)平板解析の諸条件

図-10に、平板理論を用いた解析モデル図を示す。解析条件は、前述の(3)と同様である。

表-4 FEM解析結果との比較

支持条件	方向	照査位置	曲げモーメント値(kN・m)		
			平板理論	FEM解析	
Pin-Fix	道路軸(X)	図-7の①	-369.0	-180.3	-377.2
	高さ(Y)	図-7の②	225.0	390.7	250.6
	高さ(Y)	図-7の③	168.0	228.0	189.9
Pin-Pin	道路軸(X)	図-7の①	-551.0	-244.5	-579.4

b)解析結果と考察

平板理論の解析結果を表-4に示す。FEMによる変厚及び等厚（版厚25cm 一定）の結果も合わせて整理する。

解析結果を比較することで判明した事項および考察を以下に整理する。

- ①平板理論の解析結果は、等厚モデルのFEM 解析結果とは概ね一致するが、変厚モデルのFEM解析結果とはやや大きな差がみられた。今回対象とした壁高欄の高さ（1.4m）に対する版厚変化レベル（25～68cm）においても、版厚変化の影響が顕著に表れることが判明した。
- ②等厚モデル（版厚25cm一定）に比べ、変厚モデル（版厚25～68cm変化）とした場合は、 M_y （高さ方向の曲げ）が大きく、 M_x （道路軸方向の曲げ）が小さくなる結果が得られた。高さ方向の曲げについては、部材が厚くなり剛性が高くなる壁高欄基部へ断面力がながれることが容易に推察できる。
- ③上記②より、今回検討の目的である道路軸方向接部の断面力を算定する場合は、等厚モデルで行う方が安全側の設計につながるという評価ができる。
- ④荷重作用面は $20 \times 20(\text{cm}^2)$ であり、版の辺長6.0mと比較して小さい。平板理論では、載荷面が無限に小さな集中荷重下での曲げモーメントは、理論的には無限大になるため、荷重載荷条件（荷重作用面積、載荷位置）には注意する必要がある。
- ⑤上記④を踏まえ、本検討における荷重載荷条件は、現行設計基準の検討経緯である $20 \times 20(\text{cm}^2)$ の範囲で、壁高欄天端位置に載荷させることを基本条件とした。

4. 橋軸方向接合部の設計断面力の算定

(1)解析条件

これまでの妥当性の検証結果を踏まえ、橋軸方向接合部（PBL）の設計断面力を算定するため、図-11に示す解析モデルを構築した。解析諸条件を1)～8)に整理するが、主な考え方を以下に補足する。

- 1)解析対象：種別SA フロリダ型
- 2)解析モデル：3辺支持1辺フリーの等厚モデル

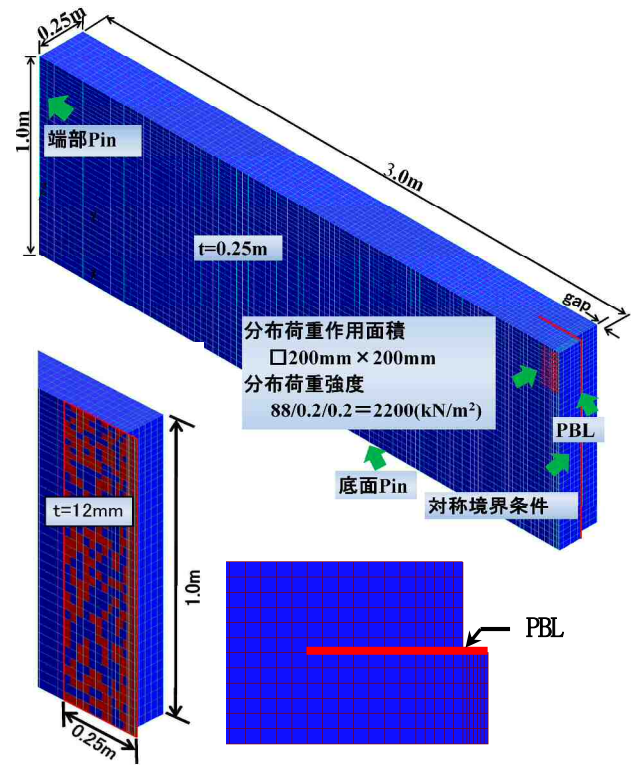


図-11 接合部の断面力算定に用いた解析モデル

- 3)支持条件：pin-pin（両端ピン、下端ピン）
- 4)版の載荷長：6.0m なお、対称であるため、荷重載荷位置センターより左側を解析領域とする。
- 5)載荷荷重：種別SAに対応する衝突荷重 $F=88(\text{kN})$ を20cm四方の面積で等分布荷重として載荷（壁高欄の天端位置）
- 6)解析要素：PBL：シェル要素
RC躯体：ソリッド要素
- 7)使用定数：前述の表-2を参照とする。（F型）
- 8)gapの設定：接合部のPBLの外側の断面は、荷重に抵抗しないため、gapを設ける。

種別SAのフロリダ型の壁高欄を対象に、3次元ソリッドモデルを適用して引張力が直接算定できるようにPBLを模擬したシェルを部材中央部に配置した。また、設計断面力が比較的大きく算定され、安全側の設計となるように、壁高欄の部材厚を0.25mの等厚としてモデル化を行った。

衝突荷重は車両用防護柵標準仕様・同解説に準じて $F=88(\text{kN})$ を20cm四方に等分布した静的荷重として壁高欄の上方に載荷した。

接合部を含む版の解析長は6.0mとしたが、解析時間の短縮のため、対称性を考慮して接合部のセンターより左側の1/2モデルとした。境界条件は、橋軸方向の曲げに着目するため、3.の知見を基に、Pin-Pin（両端ピン、下端ピン）支持とした。

PBLは、厚み12mmの鋼板として、シェル要素よりモデル化した。PBLの外側（荷重載荷側を内側とする）は引張力への抵抗ができないため、橋軸直角方向にgapを入れるものとした。なお、gap幅の大きさにより、PBLに発生する断面力の変動量を把握するため、gap幅を10～70mmで変化させ、解析を行った。

(2)解析結果

PBL要素に発生する橋軸方向引張力 N_x (kN/m) の集計を図-12(Case1 : gap幅10mm) および図-13(Case2 : gap幅70mm) に示す。

また、把握できた事項を以下に整理する。

- ①PBLに発生する引張力は、壁高欄天端付近で最大、壁高欄基部で最小となる三角形分布となり、解析モデルの対象境界面で最大引張力が発生する分布状況であった。
- ②gap幅 (10mm⇒70mm) が大きくなるに従って、PBLに発生する引張力は、減少する傾向が確認できた。これはgap幅が大きくなることにより、応力集中が緩和されたことによるものと推察される。なお、設計断面力としては、最も厳しい状態が生じたgap幅が10mm場合のものをを用いた。
- ③圧縮側 (RC要素) は、最大で $\sigma_c=8.6$ (N/mm²) 程度であり、許容応力度内 ($\sigma_{ca}=15$ N/mm²) であった。

5. 橋軸方向接合部 (PBL) の設計

(1)PBLのせん断耐力

PBLのせん断力耐力（ずれ止め耐力）は、土木学会の推奨式³⁾を基本にするものとした。なお、当該接合工法の計画では、PBL孔に貫通鉄筋を配置しないため、貫通鉄筋を有さない場合の式を採用している。

a)PBLの設計せん断耐力（1孔あたり）

$$V_{psud} = (4.31A - 39.0 \times 10^3) / \gamma_b \quad (3)$$

$$A = \pi d^2 / 4 \times (t/d)^{1/2} \times f'_{cd} \quad (4)$$

ただし、 $17.3 \times 10^3 \leq A \leq 152.4 \times 10^3$

ここに、

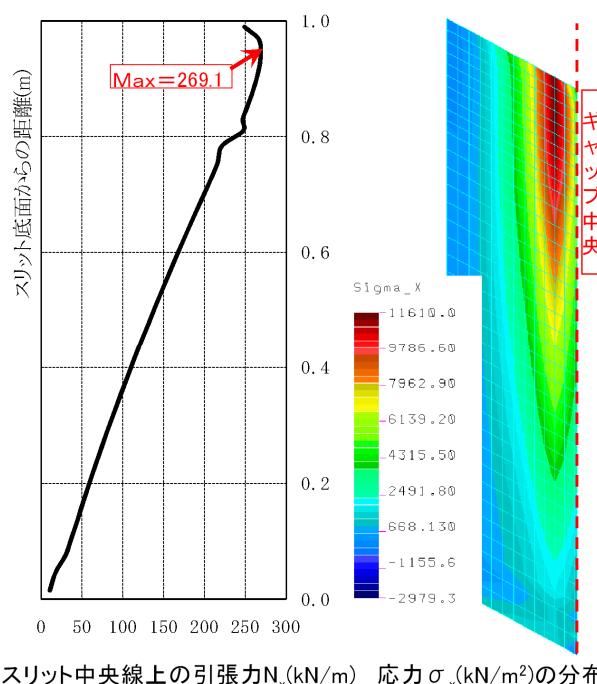
V_{psud} : 孔あき鋼板ジベル孔1個あたりの設計せん断耐力 (N)

d : 孔径 (mm)

t : 鋼板の板厚 (mm)

f'_{cd} : コンクリートの設計圧縮強度 (N/mm²)
ただし、ここでは $\gamma_c=1.0$ として設計圧縮強度を求めるものとした。

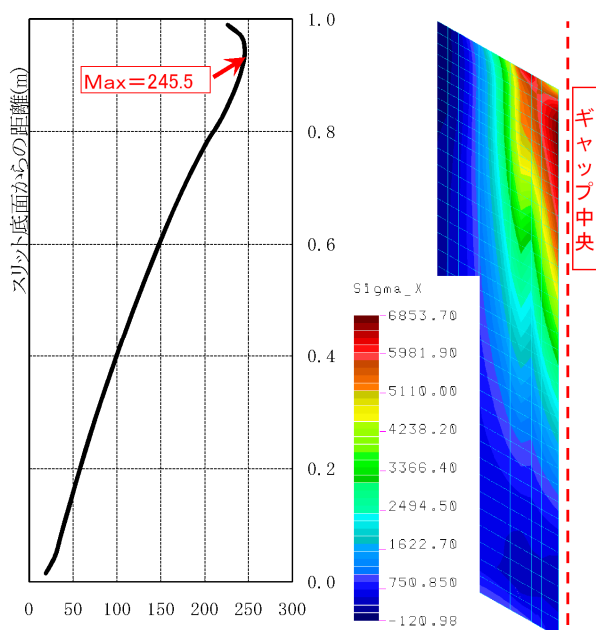
γ_b : 部材係数



スリット中央線上の引張力 N_x (kN/m) 応力 σ_x (kN/m²)の分布

図-12 PBLの引張力の分布と σ_x の分布

Case1 : gap幅=10mm



スリット中央線上の引張力 N_x (kN/m) 応力 σ_x (kN/m²)の分布

図-13 PBLの引張力の分布と σ_x の分布

Case2 : gap幅=70mm

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、逆の場合には1.3とする。

また、式 (3) および式 (4) は、孔あき鋼板ジベルの破壊が孔間の鋼板せん断力よりも先行する場合の耐力式

であるため、適用は、以下の式 (5) を満足させることに留意する必要がある。

b) 鋼板のせん断耐力

$$V_{sud} = A_s \times f_{yd} / \sqrt{3} \times (100/60) / \gamma_b \geq V_{psud} \quad (5)$$

ここに、

V_{sud} : 孔間の鋼板のせん断耐力 (N)

f_{yd} : 鋼材の設計引張降伏強度 (N/mm²)

A_s : 鋼板のせん断抵抗面積 (mm²)

γ_b : 部材係数

なお、当該壁高欄の計画では、PBLの孔の中に入る材料は、モルタルであり、上述の式は、PBLの孔の中に入る材料は、コンクリートに対応した式であるため、モルタルの場合の設計せん断耐力 (引張耐力) を求める必要がある。

ここでは、孔あき鋼板ジベルの粗骨材の充填率に伴う拘束効果に着目した論文⁴⁾を参考に、モルタルによるPBLのコンクリートジベル孔のせん断強度の低減率を考慮するものとした。

参考論文に従えば、せん断強度の低減率は、コンクリートの圧縮強度の低減率と同等と考えても差し支えないとして、圧縮強度の試験結果を踏まえて、低減率を10%程度と見込んでいる。

この結果を踏まえ、モルタルでのPBLのせん断耐力は、(3)式から、(3)'式のように加筆修正を行い設計を行うものとした。

c) 設計で使ったPBLの設計せん断耐力 (1孔あたり)

$$V_{psud} = (1-\rho) \times (4.31A - 39.0 \times 10^3) / \gamma_b \quad (3)'$$

ここに、

ρ : モルタルの場合の低減係数 ($\rho=0.1$)

(2) PBLの構造諸元の基本計画

PBLの構造細目を設定する上での基本的な考え方を以下に整理する。

①PBLの板厚は、PBLの孔の中のコンクリートの割裂破壊を生じさせないための最小厚 (t) として、土木学会の推奨値を準用し、12mmとした。

②PBLの孔径 d は、40mm 以上とし、孔と孔の中心間隔は、2d を確保した。(土木学会の推奨値 1.6~2.8 倍の範囲内で経験的な見知から設定)

③PBLの鋼板と孔部の縁端距離は、コンクリートジベルの耐力 (V_{psud}) を勘案の上、鋼板の縁端距離が構造弱点とならない距離を確保する。

具体的には、 $V_{spud} < V_{sud}$ の関係を確認し、縁端距離は b 以上 (b は鋼板の孔間距離) を確保するものとし、照査の結果、縁端距離は、40mm 以上を

確保するものとした。

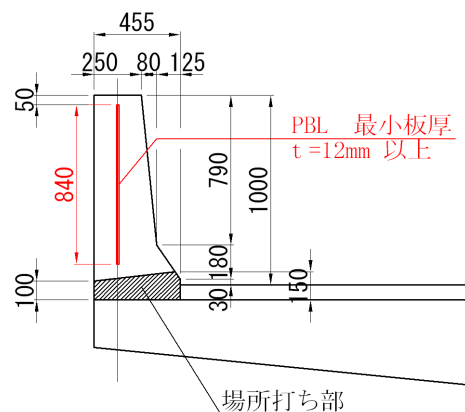
④最上縁のコンクリートジベルのせん断伝達が十分に図れるよう、コンクリートジベルの中心から 45° 方向のせん断抵抗面が、高欄天端ライン内に収まるよう、再上縁コンクリートジベルの位置を設定した。加え、接合部は場所打ちとなるため、これに対応する適切な鋼材かぶり厚を確保するものとした。

⑤橋軸方向継手部には、連続した鋼材が配置されないため、PBL は可能な限り下端まで配置する方針とした。なお、壁高欄内に通信管路の配置計画等がある場合は、PBL の配置高さを後で調整する必要がある。

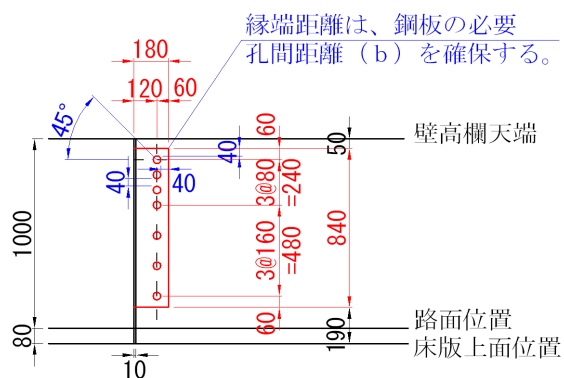
(3) コンクリートジベルの配置検討

橋軸方向の接合部に発生する断面力は、前述に記載したとおり、高欄天端が最大となる三角形分布になる特性を有する。当該断面力の分布特性を勘案し、コンクリートジベル (PBL の孔) 配置案として、下記の 3 案を立案した。

なお、衝突荷重時の安全率⁵⁾ ($F_s=1.5$) を考慮する必要があるため、コンクリートジベルが受け持つせん断耐力の照査では、設計断面力を 1.5 倍して照査し、これを満たすコンクリートジベル配置 (個数) を設定した。



(a) 断面図



(b) 側面図

図-14 PBL配置の基本計画案

- a) Case1 : 断面力が最大となる最上縁の条件(150mmの間)で決定したコンクリートジベル間隔を下段まで一律で通した場合

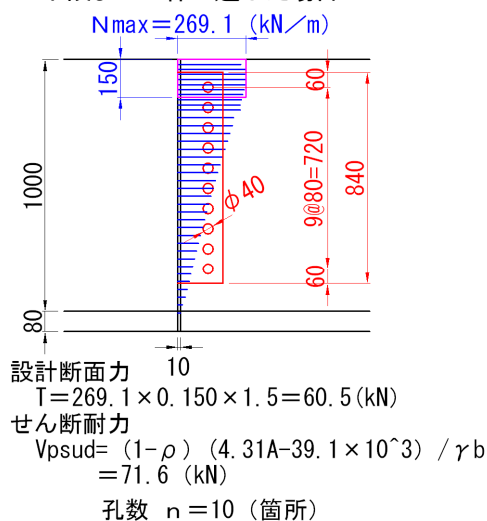


図-15 ジベル配置Case 1

- b) Case2 : 下方分担に基づき断面力の分布形態に応じて必要最小限のジベル配置とした場合

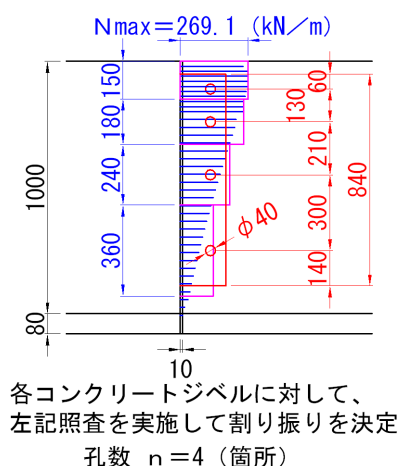


図-16 ジベル配置Case2

- c) Case3 : 断面力が最大となる最上縁の条件で4段目までを決定し、下段を倍ピッチとした場合

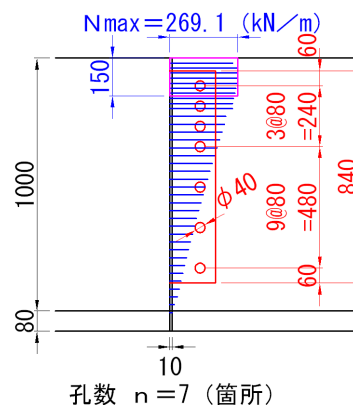


図-17 ジベル配置Case3

所定の安全性確保およびPBLの製作性を考慮して、現時点では、Case3を推奨案として計画を進めている状況である。設計計算では、上記の構造諸元で構造成立性を確保した状況であるが、今後、実物大載荷実験等の実施も視野に入れ、最終構造決定を行っていく予定である。

謝辞：本論文の平板理論に基づく断面力の算定及びFEM解析のモデル化については、大阪市立大学 園田恵一郎名誉教授よりご協力とご指導をいただきました。

参考文献

- 1) 日本道路協会：車両用防護柵標準仕様・同解説, H16.3.
- 2) 建設省土木研究所道路部交通安全研究室，日本道路公団試験研究所，(社)セメント協会ほか，高速化対応型コンクリート製防護柵に関する共同研究報告書，平成10年6月
- 3) 土木学会：複合構造標準示方書（2009年制定）pp.64～66, 2009.12
- 4) 新谷英司，蛭名貴之，上平謙二，柳田文夫：波形鋼板とコンクリート床版の結合方法に関する実験的研究，プレストレストコンクリート技術協会 第9回シンポジウム論文集，pp.91～96, 1999.10
- 5) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，I 共通編, H14.3

DEVELOPMENT OF NEW JOINT METHOD FOR PRECAST CONCRETE RAILING

Keiichi AOKI, Kenji UEHIRA, Yoshikazu TANAKA and Kinuka TAKAGI

An new joint method for precast concrete railing is developed uniquely for meeting the needs of rapidly and high-qualityly construction prior to rebuilding of railing for existing road. Major problems to be resolved are how to connect the railing to existing slab and to each other. The later problem is studied in this paper.

Perfobond shear connector is used for the shear connector, and it is designed by using 3D FEM. The validity of the analysis technique of FEM is verified by compared to the results designed by the current design criterion and Kirchhoff-Love Theory.

【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 (333) 0618 FAX : 044 (355) 4010

E-mail : techcenter@dccorp.jp

URL : <http://www.dak-pc.org/>

※無断転載・複製を禁ずる。

