

DAK 式プレキャスト壁高欄 「設計・施工ガイドライン」

〔第4版〕



2026年（令和8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 <ul style="list-style-type: none"> ・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 <ul style="list-style-type: none"> ・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
第4版 (3回目改訂版)	令和8年(2026年)5月	第3版(2回目改訂版)に以下に示す新たな情報を追加し再構築 <ul style="list-style-type: none"> ・工法研究会・会員会社の追加 ・設計の記述に関しては、更に分かり易くするため、「DAK式壁高欄の部材設計」と「DAK式壁高欄の塩害に対する耐久性」をそれぞれ独立、章立てして再編集 ・「DAK式壁高欄の衝突安全性」についても独立させ、別途章立てして再編集 ・施工については、接合モルタルの充填施工について、別途「手引き」を纏めたことを説明し、分かり易くするため、目次にも反映 ・DAK式壁高欄の全ての技術情報を「DAK式壁高欄のその他の技術情報」として別途章立てし、その中に、「あと施工アンカーのDAK式壁高欄への適用性と設計方法」についても別途掲載し、目次にも反映 ・DAK式壁高欄接合モルタル部の乾燥収縮による影響解析を実施し、その結果を受け、接合モルタル部の更なる耐久性向上に向け、フェールセーフとしての補強鉄筋を追加することを明記 ・本文も見直し、バージョンアップ ・図、写真、表の見直し、解像度を向上 ・参考文献を充実させ、全て本文に紹介

**Guidelines of Design and Construction
for DAK-style Precast Concrete Barrier**

【4th Edition】

May 2026

DAK-style Precast Concrete Barrier
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、NEXCO のフロリダ型 SB 種壁高欄を対象として、平成 29 年（2017 年）3 月に初版を発行して以降、多くの採用を頂き、施工実績も増えて参りました。

その後、NEXCO から剛性壁高欄の衝突安全性に対する確認方法として、「試験法 441」が制定され、DAK 式壁高欄もこの試験法により衝突安全性を確認し、令和元年（2019 年）9 月に第 2 版（1 回目の改訂版）を発行させて頂きました。

その後、工法研究会の会員会社も増えましたこと、実績の増加に伴う新たな知見が得られましたこと、DAK 式壁高欄のループ接合に伴う標準鉄筋配置を明確に出来ましたこと、新たなバネ式通信管路を標準化構造としましたこと、塩害に対する耐久性の新たな知見が増えましたこと、また、新たな外部発表報告や論文が増えましたこと等を踏まえ、令和 4 年（2022 年）5 月に第 3 版（2 回目の改訂版）を発行させて頂きました。

今般、工法研究会の会員会社の増加を含め、また、「接合モルタル充填施工の手引き」として、DAK 式壁高欄の耐久性に直結する現場施工となる接合モルタルの充填施工に特化し、施工方法に関する情報を「設計・施工ガイドライン」とは別に、「施工の手引き」として詳細に纏めましたことを受け、その情報をガイドラインにも追加するとともに、凍害による DAK 式壁高欄の表面劣化に対する対策や、塩害に対する耐久性の評価として、土木学会・コンクリート標準示方書に準じた耐久性の照査を取り入れて纏めましたこと、また、接合モルタルの乾燥収縮に伴う時刻歴応答解析を 3 次元の FEM 解析モデルを用いて収縮履歴を明確にし、それに対するフェールセーフとしての補強鉄筋の配置を決定しましたこと等、新たな知見を追加し、更に、前版より分かり易くするため、「DAK 式壁高欄の部材設計」、「塩害に対する耐久性」及び「衝突安全性」については、それぞれ分離して独立した章として説明することとしました。そして、DAK 式壁高欄の全ての技術情報を取り込むべく、別途章立てし、「その他の技術情報」として取り込み、第 4 版（3 回目の改訂版）として発行させて頂きました。この第 4 版は、「設計・施工ガイドライン」の最終版として位置づけております。

今後、NEXCO の橋梁更新工こと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、また、計画・設計される建設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長やそれらの優位性、また、設計方法や施工方法をご理解頂き、採用に向けて検討頂くため、分かり易く、かつ、計画に必要と思われる様々な情報を参考文献も含め取り込み纏めました。

それらの内容は、概ね、以下の通りとなっています。

第1章では、「総則」として、第3版の内容を引き継ぎ、適用の範囲と DAK 式壁高欄特有の用語について定義しています。

第2章では、こちらも第3版の内容を引き継ぎ、「DAK 式壁高欄の特長」として、特に、床版との接合部や壁高欄同士の橋軸方向の接合部の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。特に材料的特長では、標準として高炉スラグ微粉末を混合していることから、CO₂削減に寄与でき、政府が掲げる「2050年カーボンニュートラル」の政策に合致した環境に優しい材料となっています。

第3章に関しましては、前版の第3版（2回目の改訂版）の構成として、「第3章 DAK 式壁高欄の設計」に関し「性能照査」の考えを取り入れ、「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」として、「耐久性に関する照査」では、「塩害に対する耐久性」を、「安全性に関する照査」では、「衝突安全性」を、また、「使用性に関する照査」では、「壁高欄の部材設計」として、それぞれ同じ章内で纏めていましたが、少し分かり辛いところのご意見も頂いておりましたので、今版では、壁高欄の部材としての安全性照査は、「DAK 式壁高欄の部材設計」として新たに章立てし、壁高欄の塩害に対する耐久性についても、「DAK 式壁高欄の塩害に対する耐久性」として別に章立てし、また、衝突安全性についても、「DAK 式壁高欄の衝突安全性」として別に章立てして分かり易く説明することにしました。そこで、本章では、第3章として「DAK 式壁高欄の部材設計」に特化して、壁高欄自体の部材設計の基本的な考え方、材料の設計用値、設計用荷重、断面力の計算、安全性照査のための応力度の制限値、安全性の具体的な照査方法及び構造細目まで分かり易く説明しています。

第4章では、DAK 式壁高欄の塩害に対する耐久性について、「DAK 式壁高欄の塩害に対する耐久性」として独立した章立てとし、基本、「コンクリート標準示方書【設計編：標準】2017年制定」の「2編 耐久設計及び耐久性に関する照査」及び「4編 使用性に関する照査」及び NEXCO 中日本の「壁高欄の塩害に対する耐久性照査方法(案)」に準じ、耐久性照査に関する照査条件を含め「耐久性照査」の考え方から照査結果まで具体的に分かり易く説明しています。本耐久性照査では、DAK 式壁高欄の耐久性と比較するため、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、高炉スラグ B 種相当（以下、高炉 B 種という）を用いた場所打ち壁高欄、普通セメントを用いたプレキャスト壁高欄（以下、PCa 壁高欄という）及び早強セメントを用いた PCa 壁高欄についても耐久性照査を行い、DAK 式壁高欄の塩害に対する優位性を明確にしています。

第5章では、「DAK 式壁高欄の衝突安全性」として独立した章立てとし、NEXCO の「試験法 441」に準じ、衝突試験方法から衝突試験結果まで、また、3次元 FEM 解析モデルによる衝突解析結果を含め、DAK 式壁高欄の衝突安全性について、分かり易く説明するため、新たに図も追加して詳しく説明しています。

第 6 章では、基本的には第 3 版の内容を引き継ぎ、「DAK 式壁高欄の製作」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、新たに標準化したバネ式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、PCa 壁高欄の接合面の処理方法、仮置き及び保管方法、耐久性を考慮した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 3 版とは内容の構成は変えず、写真等を標準化構造に合わせ入れ替えるなど再編集しました。また、それに加え、新たな知見として、凍害及び塩害による DAK 式壁高欄表面劣化への対策についても追加し、詳しく説明しています。

第 7 章では、こちらも、基本的には第 3 版の内容を引き継ぎ、「DAK 式壁高欄の施工」として、準備工、PCa 壁高欄の荷下し及び建て込み、PCa 壁高欄の高さ調整、通信管路の接合、ループ鉄筋内の橋軸方向鉄筋の配置、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 3 版とは構成は変えず再編集するとともに、それに加え、現場施工で重要となる接合モルタルの充填施工について、別途、「リペアメント NS TYPE II を用いた接合モルタルの充填施工の手引き」として編集した内容の要旨を述べるとともに、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、編集を加え詳しく説明しています。

また、接合モルタルの充填施工は現場施工となることから、施工後には、モルタルの乾燥収縮の影響を受けることになるため、その乾燥収縮が、上下のコンクリート部材に及ぼす影響について、FEM 解析モデルを用いた時刻歴応答解析を実施し、その結果を基に、接合モルタル部内にフェールセーフとして補強鉄筋を配置することを詳しく説明しています。

第 8 章では、こちらも、基本的に第 3 版の内容を引き継ぎ、「DAK 式壁高欄の標準施工工程」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 9 章では、第 3 版で、「DAK 式壁高欄の標準化」としてその内容を紹介していましたが、標準化構造の実績も増えましたこと、また、標準化内容は、各章でも説明しておりますことを踏まえ、あえて「標準化」として章立てすることは止め、第 9 章には「DAK 式壁高欄の部分取替え」について新たに追加しました。施工後の DAK 式壁高欄の損傷や劣化が考えられる車両衝突による部分損傷や、その他の劣化等による DAK 式壁高欄の部分的な取り換え方法について、「維持補修」や「維持管理」の観点から必要な情報と考え、第 9 章として、「DAK 式壁高欄の部分取替え」を新たに追加し、図を多用して分かり易く説明しています。

第10章では、「DAK式壁高欄のその他の技術情報」として、こちらにも新たに章立てし追加しました。内容としましては、壁高欄背面に作業スペースを確保できない場合の施工方法案や劣化した既設壁高欄のみを取り替える場合の施工方法として、あと施工アンカー（金属拡底アンカー）のDAK式壁高欄への適用性や設計方法について、その概要を説明しています。

巻末には、【参考文献】を紹介し、本文中の説明内容の補足として、DAK式壁高欄に関する外部発表報告、論文、各種示方書、各種要領及び工法研究会作成の技術資料等を全て紹介し、本文中に参考文献として引用しています。

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。

DAK式壁高欄に関するご質問は、本ガイドラインの巻末にございます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。

本設計・施工ガイドラインの改訂版は、老朽化した社会インフラの更新こと業等の計画・設計・施工に十分資する内容に改訂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、また、特に、材料的特長では、標準として高炉スラグ微粉末を混合していることから、CO₂削減に寄与でき、政府が掲げている「2050年カーボンニュートラル」の政策に合致した環境に優しい材料としていますので、是非、ご検討頂ければ幸いです。

最後に、本ガイドライン改訂に当たり、資料や写真の提供を頂いた工法研究会・会員各社様、関係の皆様へ感謝致します。

2026年（令和8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 インフラスクエア
株式会社 愛橋
株式会社 安部日鋼工業
株式会社 エスシー・プレコン
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
栗本商事 株式会社

計 15 社

技術顧問：睦好宏史 埼玉大学名誉教授

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 構造的の特長	2
2.2 材料的の特長	4
第3章 DAK 式壁高欄の部材設計	6
3.1 設計の基本事項	6
3.1.1 設計の基本方針	6
3.1.2 安全性の照査方針	6
3.2 材料の設計用値	7
3.2.1 コンクリートの設計用値	7
3.2.2 鋼材の設計用値	7
3.2.3 接合モルタルの設計用値	8
3.3 設計用荷重	8
3.3.1 荷重の種類	8
3.3.2 荷重の組合せ	9
3.4 断面力の計算	9
3.4.1 断面力の計算方法	9
3.4.2 断面力の計算	12
3.5 安全性照査のための応力度の許容値	14
3.5.1 応力度の許容値の考え方	14
3.5.2 応力度の許容値	15
3.6 安全性の照査	16
3.6.1 照査方針	16
3.6.2 壁高欄部材の安全性の照査	16
3.6.3 壁高欄橋軸方向接合部の安全性の照査	21
3.7 構造細目	34
3.7.1 鉄筋配置	34
3.7.2 PCa 壁高欄の形状	36
3.7.3 コンクリート床版と PCa 壁高欄の接合高さ	38
3.7.4 PBL の構造・寸法	39

3.7.5	PBL 付け根の溶接の寸法	40
3.7.6	PBL 及び補強鉄筋の標準配置と標準寸法	40
3.7.7	PCa 壁高欄同士の橋軸方向の接合方法と寸法	42
3.7.8	PCa 壁高欄の縦断線形に対する配置	42
3.7.9	PCa 壁高欄と場所打ち壁高欄の接合方法	42
3.7.10	通信管路の構造と配置	44
3.7.11	斜角及び平面線形に対するループ鉄筋の配置	47
3.7.12	PCa 壁高欄の割付け	48
第4章 DAK 式壁高欄の塩害に対する耐久性		51
4.1	耐久性照査の考え方	51
4.2	耐久性の照査方法	52
4.2.1	概要	52
4.2.2	塩化物イオンの侵入に伴う鋼材腐食に対する照査方法	53
4.2.3	耐久性照査で設定する鋼材腐食発生限界濃度	53
4.2.4	鋼材位置における塩化物イオン濃度の設計値	54
4.2.5	塩化物イオンに対する設計拡散係数	55
4.2.6	耐久性照査に用いるかぶりの設計値	56
4.3	塩害に対する 100 年の耐久性照査結果	57
4.3.1	普通鉄筋を用いた各壁高欄コンクリートの耐久性照査結果	57
4.3.2	エポ筋を用いた各壁高欄コンクリートの耐久性照査結果	58
4.3.3	耐久性照査結果のまとめ	59
第5章 DAK 式壁高欄の衝突安全性		61
5.1	DAK 式壁高欄の衝突安全性の考え方	61
5.2	DAK 式壁高欄の衝突安全性の照査方法	61
5.2.1	「試験法 441」に準じた衝突試験方法	61
5.2.2	緩衝材の種類と寸法	63
5.3	DAK 式壁高欄の衝突安全性照査	63
5.3.1	衝突試験の方法	63
5.3.2	衝突荷重の衝突位置	64
5.3.3	衝突試験結果	65
5.3.4	衝突解析結果	66
第6章 DAK 式壁高欄の製作		67
6.1	製作フロー	67

6.2	型枠の製作	68
6.3	鉄筋と型枠の組立て	68
6.3.1	ユニット鉄筋の組立て	68
6.3.2	鉄筋組立時の許容誤差	69
6.3.3	付属物の取付け	69
6.3.4	型枠の組立て	69
6.4	剥落防止工	70
6.5	通信管路の配置	70
6.6	隅角部の面取り	71
6.7	縞鋼板配置部におけるかぶりコンクリート部の形状	72
6.8	コンクリートの品質と配合	72
6.8.1	品質	72
6.8.2	示方配合	73
6.9	コンクリートの打込み及び養生	73
6.9.1	コンクリートの打込み	73
6.9.2	コンクリートの養生	73
6.10	製品の取出し及び接合面の処理	73
6.10.1	製品の取出し	73
6.10.2	小口面及び打継ぎ面の処理	74
6.11	凍害に対する表面対策	74
6.12	仮置き保管	74
6.12.1	仮置き保管	74
6.12.2	露出鋼材の防錆	75
6.13	出来形管理	75
6.14	運搬、搬出	75
第7章	DAK 式壁高欄の施工	76
7.1	準備工	76
7.1.1	現地の確認	76
7.1.2	PCa 壁高欄の搬入計画	76
7.2	PCa 壁高欄の荷下し、仮置き及び建て込み	76
7.2.1	PCa 壁高欄の荷下し	76
7.2.2	PCa 壁高欄の仮置き	77
7.2.3	PCa 壁高欄の建て込み	77
7.2.4	高さ調整及び仮固定	80
7.2.5	通信管路・接合部の施工	81

7.2.6	ループ鉄筋内橋軸方向鉄筋及び補強鉄筋の配置	82
7.3	接合モルタルの使用材料及び試験練り	85
7.3.1	使用材料	85
7.3.2	試験練り	85
7.4	接合部の型枠設置	86
7.5	モルタル材の仮置き及び本練り	87
7.5.1	モルタル材の仮置き	87
7.5.2	モルタルの本練り	87
7.6	モルタルの充填	89
7.6.1	モルタル充填前の確認事項	89
7.6.2	モルタルを流下させる方法	90
7.6.3	モルタルを下から充填させる方法	91
7.6.4	モルタル充填施工の手引き	92
7.7	養生	92
7.8	接合モルタル部の型枠脱型、後片付け、完成	93
第8章	DAK 式壁高欄の標準施工工程	94
8.1	概要	94
8.2	標準施工工程算出の基本条件	94
8.3	標準施工工程の算出条件	95
8.4	DAK 式壁高欄と場所打ち壁高欄の標準施工工程の比較	96
8.5	標準施工工程に関するまとめ	97
第9章	DAK 式壁高欄の部分取替え	98
9.1	部分取替えの基本的考え方	98
9.2	部分取替え方法	98
9.3	DAK 式壁高欄の切断位置	98
9.4	部分取替えの施工方法	101
第10章	DAK 式壁高欄のその他の技術情報	102
10.1	壁高欄背面に作業スペースを確保できない場合の施工方法	102
10.1.1	概要	102
10.1.2	DAK 式壁高欄の背面に袴を設けた施工方法	103
10.1.3	壁高欄背面に埋め殺し型枠を用いた施工方法	104
10.2	あと施工アンカーの DAK 式壁高欄への適用性と設計方法	107
10.2.1	概要	107

10.2.2	あと施工アンカーの種類	107
10.2.3	DAK 式壁高欄への拡底アンカーの適用性	108
10.2.4	拡底アンカーを DAK 式壁高欄に適用するための要求性能	109
10.2.5	拡底アンカーの構造と配置	110
10.2.6	拡底アンカーを用いた DAK 式壁高欄の設計方法	110
10.2.7	拡底アンカーを DAK 式壁高欄に適用した設計例	113
	【参考文献】	116
	【問合せ窓口】	119

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するフロリダ型 SB 種剛性壁高欄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、鉄筋の定着長を満足できれば、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、鋼・コンクリート合成床版、鋼床版等を有する新設橋梁の建設、床版拡幅等の部分拡幅工法、劣化した壁高欄のみの改修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 PCa 壁高欄工法で、PCa 壁高欄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 壁高欄工法をいう。
- ループ鉄筋継手** : 床版側及び PCa 壁高欄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** : PCa 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** : PCa 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耐久・高性能な専用モルタルをいう。
- 高炉スラグ微粉末** : 遮塩性向上のために PCa 壁高欄コンクリート及び接合モルタルに混合されている混和材をいう。
- バネ式通信管路** : PCa 壁高欄同士の接合部に用いられ、通信管路の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。
- 遮塩性** : 高炉スラグ微粉末を混合した PCa 壁高欄コンクリート及び接合モルタルの塩害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 構造的長特¹⁾

DAK 式壁高欄の構造的長特は、以下の通りである。

① DAK 式壁高欄と床版との接合には、図-2.1.1 に示すように、高さ調整や施工誤差の吸収を容易にできるループ鉄筋継手を採用しており、床版に配置された主鉄筋としてのループ鉄筋の間に、DAK 式壁高欄コンクリート側に配置された主鉄筋としてのループ鉄筋を配置し、橋軸方向にそれぞれ交互に配置されたループ鉄筋継手構造としている。

なお、DAK 式壁高欄に配置される鉄筋は、NEXCO の場所打ち壁高欄の標準鉄筋配置（主鉄筋配置及び横方向鉄筋配置）を踏襲しており、床版との接合部のみループ鉄筋継手としている。

図-2.1.2 は、DAK 式壁高欄を建て込んだ状態でのループ鉄筋継手の断面内での配置状況を示す。

この接合部には、高炉スラグ微粉末を混合した高耐久・高性能な収縮抑制型の専用の接合モルタル（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 PCa 壁高欄が壁高欄としての構造部材として一体化される構造としている。

② PCa 壁高欄同士の橋軸方向の接合は、図-2.1.1 に示すように、橋軸方向に連続的な構造性能を有するよう、また、衝突荷重による接合部の面外方向のずれが生じないように、PBL（孔あき鋼板ジベル）を用いた接合構造としている。PBL を差し込む溝側は、図-2.1.1 の上図に示すように、縞鋼板を配置し、衝突荷重による PBL の橋軸方向の引張りに対するズレに抵抗させる構造としている。

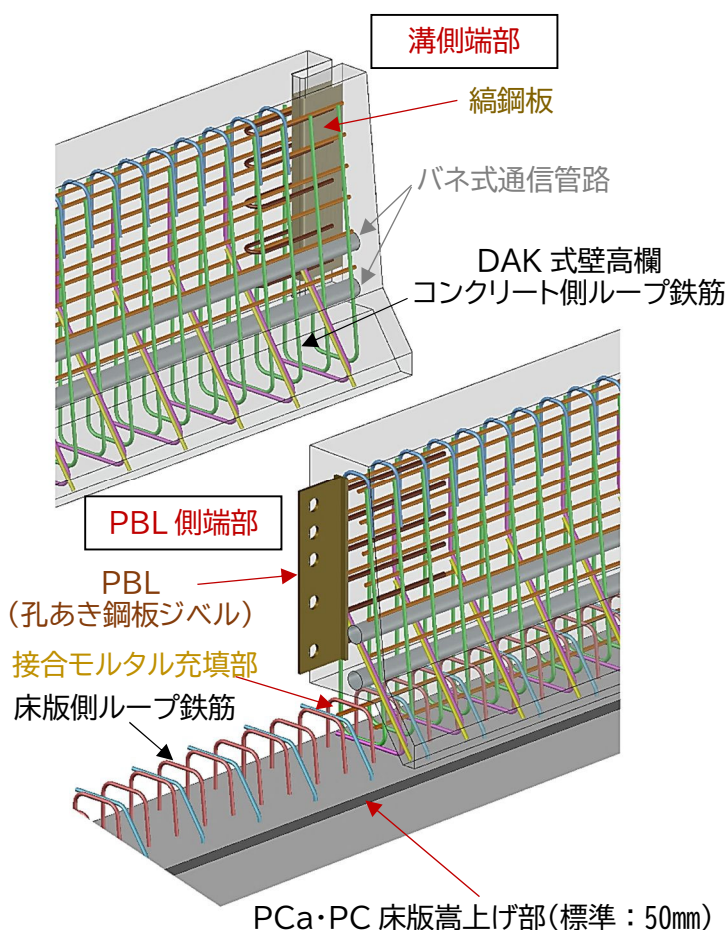


図-2.1.1 DAK 式壁高欄の接合部の構造

ループ鉄筋継手内には、図-2.1.2 に示すように、上下のループ鉄筋の拘束効果を高めるため、橋軸方向にD13 鉄筋を2本配置し、その接合部に高性能・高耐久なモルタルを充填して一体構造としている。

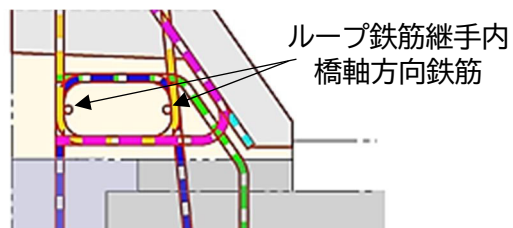


図-2.1.2 ループ鉄筋継手の配置状況

これらの接合構造を採用することによって、現場でのDAK式壁高欄の建て込みは、既に設置されたDAK式壁高欄に合わせ、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-2.1.3に示す。

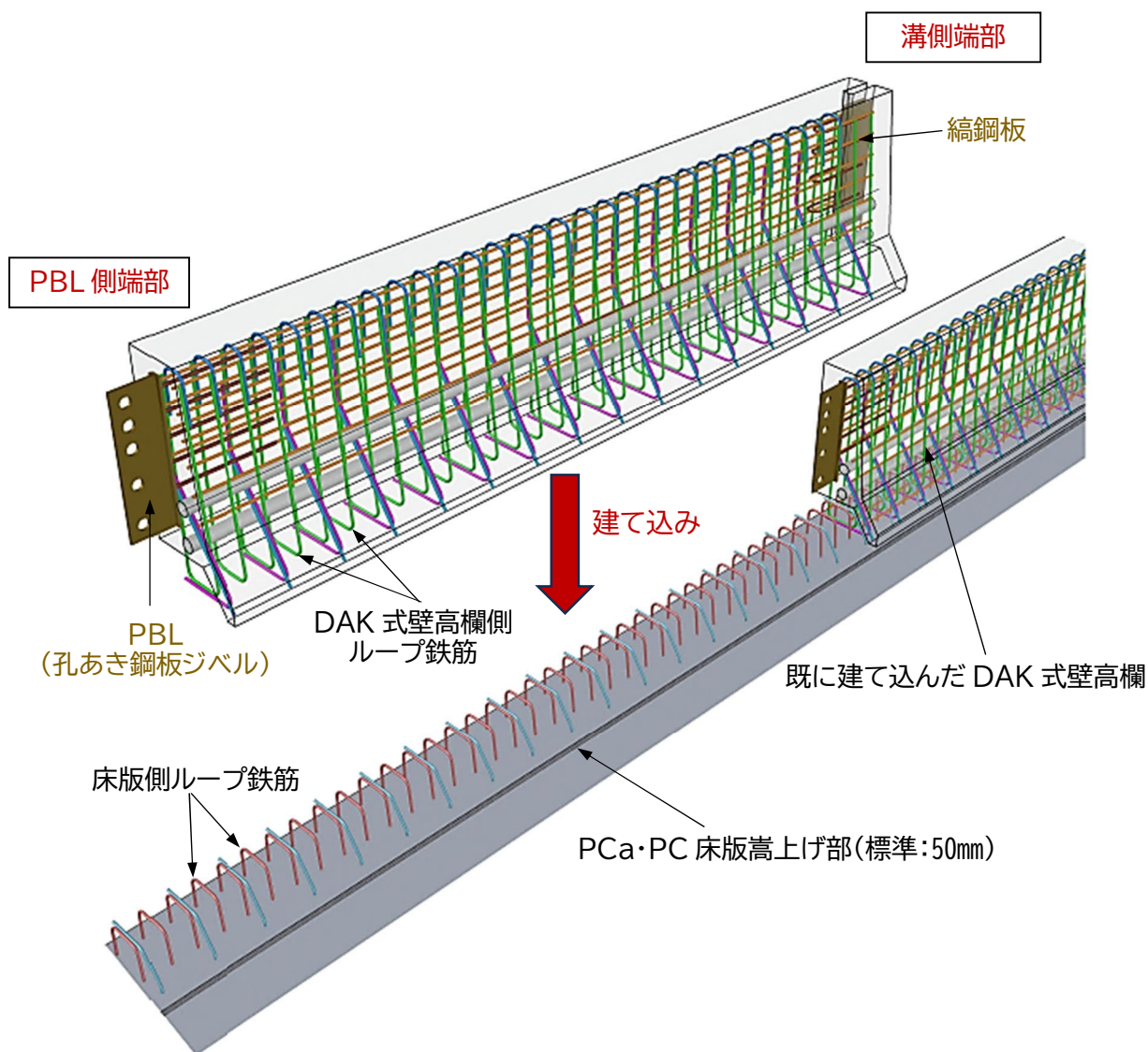


図-2.1.3 DAK式壁高欄の建て込みのイメージ図

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 4000 以上を 30%以上混合しており³⁾、また、床版と PCa 壁高欄との接合部に充填される接合モルタルにも、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。

なお、塩害に対する耐久性の評価については、別途、「第4章 DAK 式壁高欄の塩害に対する耐久性」で詳述している。

② 接合モルタルの正式名は、商品名で「リペアメント NS TYPE II」といい、本材料の荷姿は、25kg の袋体及び 1t フレコンで、使い分けが可能である。本材料の物性を試験結果の参考値として表-2.2.1 に示す。

表-2.2.1 リペアメント NS TYPE II の物性の参考値

物性内容		試験方法	規格値	試験値
コンシステンシー	J14 ロート	JHS-312 に準拠	8±2(秒)	7.8(秒)
凝 結 時 間	JHS-312 に準拠	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	JHS-312 に準拠	2 時間で 2% 以内	0.0(%)
膨 張 収 縮 率	JHS-312 に準拠	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	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、NEXCO の要求性能として規定されている値を基本としている。

DAK 式壁高欄の現場施工として使用される接合モルタル材の荷姿は、標準として、25kg の袋体で、その袋体を写真-2.2.1 に示す。なお、1t フレコンについては、「第7章 DAK 式壁高欄の施工」で詳しく述べている。

また、参考として、「リペアメント NS TYPE II」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

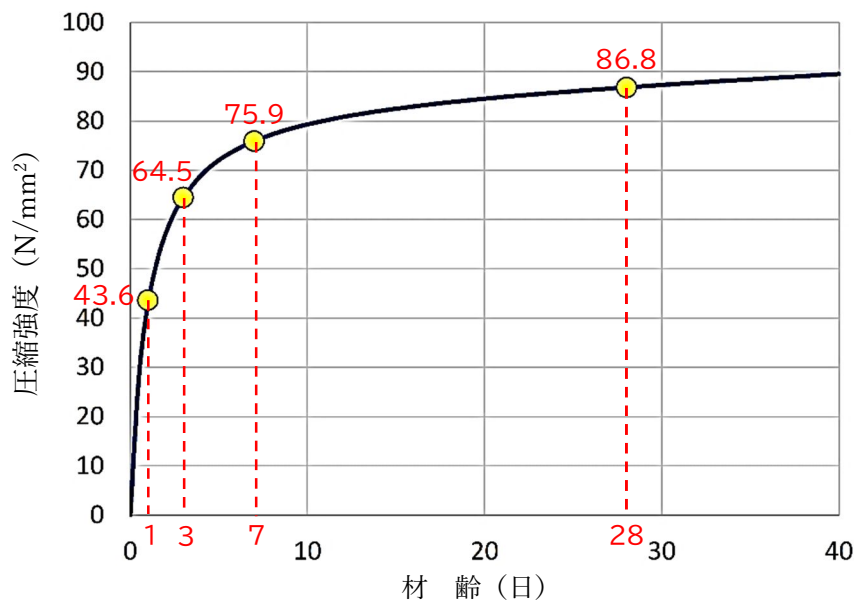


図-2.2.1 「リペアメント NS TYPE II」の環境温度 20°Cにおける材齢-強度曲線の試験値例

③ DAK 式壁高欄コンクリート及び接合モルタルの塩害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 $D_c=0.534\text{cm}^2/\text{年}$ となり、一方、接合モルタル「リペアメント NS TYPE II」では、365 日間の浸漬結果で $D_c=0.217\text{cm}^2/\text{年}$ という結果がそれぞれ得られている。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³⁾。

詳細は、「第 4 章 DAK 式壁高欄の塩害に対する耐久性」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 Ⅲ 保全編 13-3-5 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。

接合モルタルの標準的な充填施工による試験の結果、平均付着強度は 2.1 N/mm^2 程度と確認しており、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 1.5 N/mm^2 を満足している²⁾。従って、現場施工に伴う付着強度の確認は省略してよいとしている。

⑤ 接合モルタルの乾燥収縮量は、市販の無収縮モルタルに比べ小さく抑えており、収縮抑制効果を高めた材料設計となっている²⁾。この詳細については、「第 7 章 DAK 式壁高欄の施工 7.2.6 ループ鉄筋内橋軸方向鉄筋及び補強鉄筋の配置」で記述している。

第3章 DAK 式壁高欄の部材設計

3.1 設計の基本事項

3.1.1 設計の基本方針

本節では、DAK 式壁高欄における壁高欄部材の衝突荷重に対する安全性の照査のための基本的な事項について整理している。

そして、DAK 式壁高欄の部材設計については、基本、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⁾ 及び「設計要領第二集 [橋梁保全編] 7 章 付属物 5-5 プレキャスト壁高欄」⁵⁾ 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。

但し、DAK 式壁高欄は、工場製作の PCa 部材を用いる工法であるため、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 式壁高欄固有の特長がある。従って、ここでは、DAK 式壁高欄に関する材料の設計用値、設計用の断面力の算定方法、部材の安全性を照査するための応力度の制限値の考え方及び具体的な設計方法、構造細目まで、DAK 式壁高欄の部材設計の方法を分かり易く記述する。

なお、部材の安全性の照査については、壁高欄部材としての安全性と、橋軸方向接合部の安全性についてそれぞれ照査を行っている。

3.1.2 安全性の照査方針

壁高欄部材の安全性の照査は、図-3.1.1 に示すように、設計衝突荷重が壁高欄天端に載荷された場合に計算される設計曲げモーメントに対し、単位幅当たりの設計部材（矩形断面）に対し算出されるコンクリート及び鉄筋応力度が、衝突荷重作用時の各応力度の制限値内にあることを確認する照査とし、また、橋軸方向接合部の安全性の照査については、図-3.1.1 に示す衝突荷重による PBL 及び接合部周辺の安全性を確認する照査としている。

照査の詳細は、「3.6 安全性の照査」で詳述している。

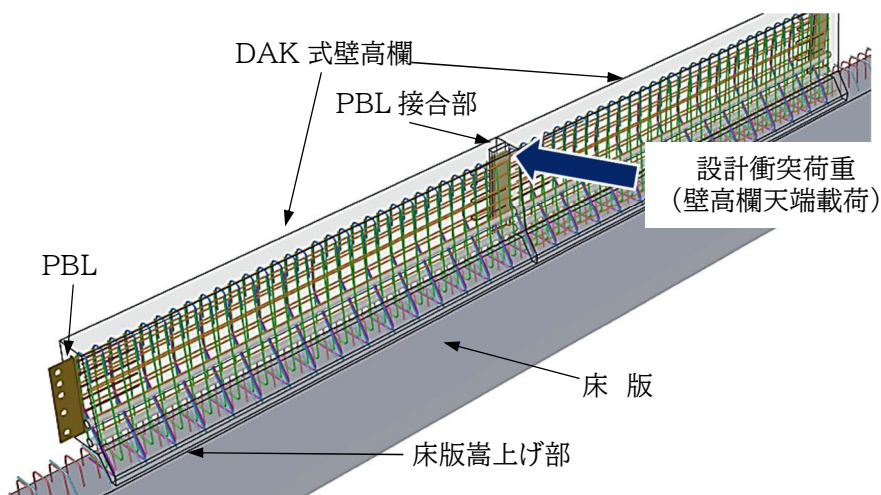


図-3.1.1 衝突荷重を受ける DAK 式壁高欄

3.2 材料の設計用値^{4)、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の仕様

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	$\sigma_{ck} = 40 \text{ N/mm}^2$
モルタル	床版と PCa 壁高欄の接合部	$\sigma_{ck} = 45 \text{ N/mm}^2$
鉄筋	PCa 壁高欄本体及び床版との接合部	SD345
P B L	PCa 壁高欄同士の接合部	SM400
フランジプレート ⁽¹⁾	PBL と PCa 壁高欄の接合部	SM400
縞鋼板	PBL 挿入溝部	SS400

注) (1) のフランジプレートは、PBL 側壁高欄に配置される PBL を溶接する鋼板をいう。

3.2.1 コンクリートの設計用値

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 PCa 壁高欄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 鋼材の設計用値

DAK 式壁高欄に用いられる鋼材、すなわち、鉄筋、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、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	$E_s = 2.0 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ ⁽¹⁾	0.3 ⁽¹⁾
P B L	SM400	$E_s = 2.0 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ ⁽¹⁾	0.3 ⁽¹⁾
フランジプレート	SM400	$E_s = 2.0 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ ⁽¹⁾	0.3 ⁽¹⁾
縞鋼板	SS400	$E_s = 2.0 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ ⁽¹⁾	0.3 ⁽¹⁾

注) (1) の値は、道路橋示方書に準じた。

3.2.3 接合モルタルの設計用値^{2)、6)}

DAK 式壁高欄において、床版と PCa 壁高欄との接合部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	$\sigma_{mk} = 45 \text{ N/mm}^2$	28 日材齢
ヤング係数	$E_m = 2.1 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ ⁽¹⁾	28 日材齢
ポアソン比	1/6 ⁽²⁾	

注) σ_{mk} : モルタルの設計基準強度を示す。

E_m : モルタルのヤング係数を示す。

(1) の値は、試験値としている。

(2) の値は、道路橋示方書のコンクリートの規定に準じた。

3.3 設計用荷重^{4)、6)}

3.3.1 荷重の種類

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ための荷重は、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。

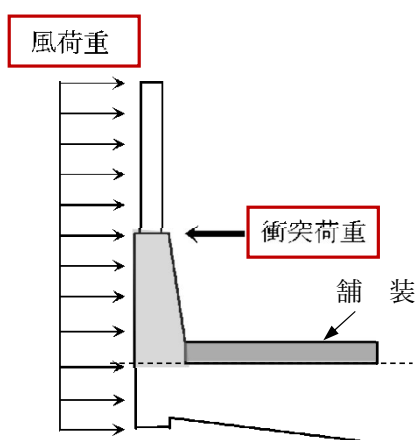


図-3.3.1 剛性壁高欄の設計に用いる荷重の種類

なお、衝突荷重については、壁高欄部材設計用の荷重と、橋軸方向接合部設計用の荷重をそれぞれ分けて考慮している。

また、本ガイドラインでは、衝突荷重に対する壁高欄としての部材設計と橋軸方向継手としての PBL の設計を主として記載することとした。従って、部材設計については、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。

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、別途検討が必要である。

3.3.2 荷重の組合せ

部材設計用の衝突荷重作用時における荷重の組合せは、表-3.3.1の通りである⁶⁾。

表-3.3.1 衝突荷重作用時の荷重の組合せ

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

衝突荷重作用時の壁高欄部材としての部材設計については、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、壁高欄の部材設計では、衝突荷重(CO)のみ考慮している。

3.4 断面力の計算⁴⁾

3.4.1 断面力の計算方法

部材設計のための断面力、すなわち、設計曲げモーメントを計算するための構造モデルについては、二種類としている。

一つは、衝突荷重を受けた DAK 式壁高欄が面外方向に変形する挙動に対する部材設計、つまり、主鉄筋に対する安全性照査モデルと、もう一つは、PCa 壁高欄同士の接合部に衝突荷重が作用した場合の橋軸方向接合部、つまり、PBL 等の安全性照査モデルである。

(1) DAK 式壁高欄の面外変形に伴う部材安全性照査のためのモデル化

衝突荷重によって DAK 式壁高欄が面外方向に変形する場合の部材安全性照査モデルは、図-3.4.1 及び図-3.4.2 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橋軸方向に一定な天端線荷重として与えられる⁴⁾。

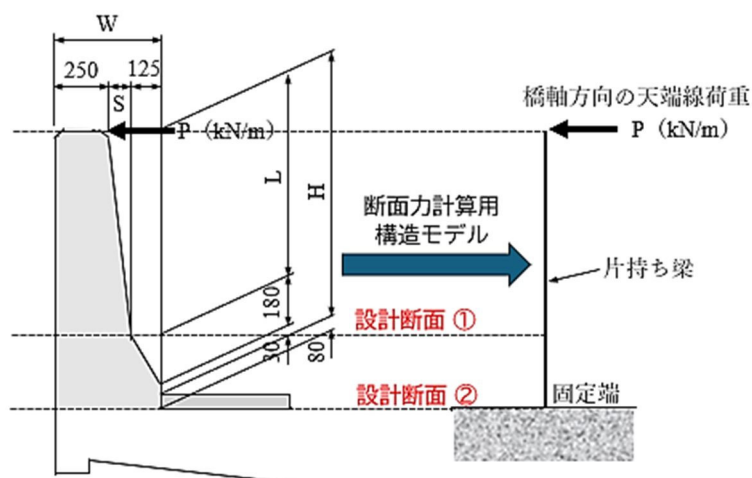


図-3.4.1 DAK 式壁高欄の部材設計用荷重載荷、断面力計算用モデル及び設計断面位置

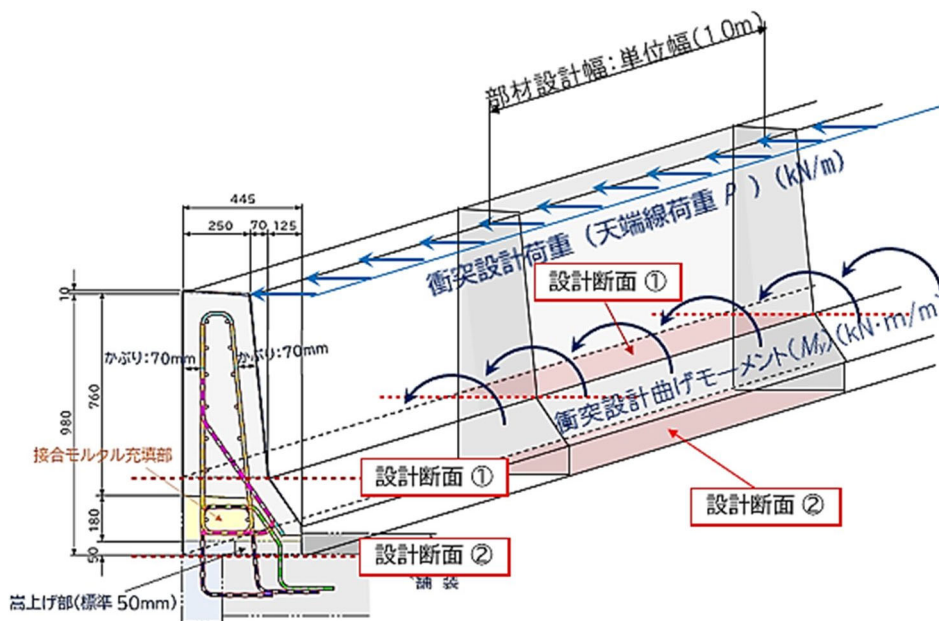


図-3.4.2 部材設計用の天端線荷重載荷及び設計曲げモーメント分布概念図

そして、部材安全性の照査断面は、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。

(2) 橋軸方向接合部の安全性照査のためのモデル化⁷⁾

DAK 式壁高欄の橋軸方向の接合部の安全性を照査するためには、接合部に配置されている PBL の安全性の照査が必要であるが、そのためには、PBL に作用する断面力を計算する必要がある。

図-3.4.2 に示した部材安全性照査用の衝突荷重は、橋軸方向に一定な線荷重として載荷されるため、後述する図-3.4.3 に示す衝突荷重によって生じる正曲げ (M_x) 分布のような壁高欄の面外方向の曲げ挙動は生じない。そのため、PCa 壁高欄同士の橋軸方向接合部の設計を行うためには、衝突荷重による面外方向の挙動を考える必要がある。

「車両用防護柵標準仕様・同解説」⁹⁾ では、衝突設計荷重は、壁高欄天端に作用する集中荷重 (載荷幅 200mm×200mm) として規定されている。壁高欄天端に集中荷重が作用した場合の壁高欄の曲げ挙動は、版挙動として、図-3.4.3 に示すように、縦方向曲げモーメント (鉛直方向曲げモーメント) (M_y) と面外方向に作用する曲げモーメントとしての横方向曲げモーメント (橋軸方向曲げモーメント) (M_x) が生ずる。

この場合、図-3.4.3 から分かるように、横方向曲げモーメント (M_x) は、衝突荷重載荷位置に集中する挙動となる。

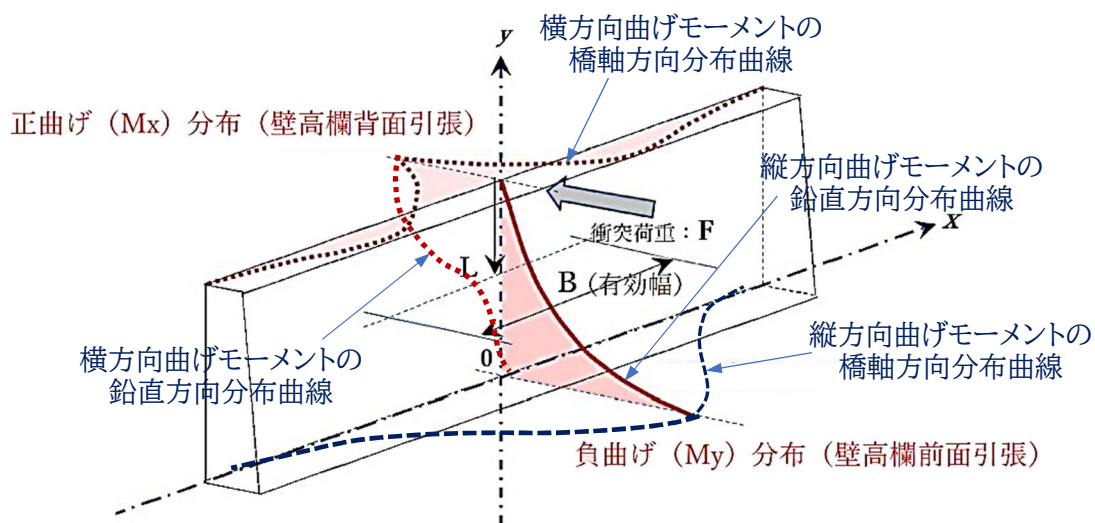


図-3.4.3 天端衝突荷重によって壁高欄に作用する曲げモーメント分布の概念図

図-3.4.3 に示すように、橋軸方向接合部の天端に衝突荷重 (200mm×200mm の分布荷重) が作用した場合、特に接合部の天端付近には、面外変形や面外方向の横方向曲げモーメントが集中する挙動となり、接合部に配置されている PBL には、図-3.4.4 に示すような各断面力が生ずることが分かっている^{1), 7)}。

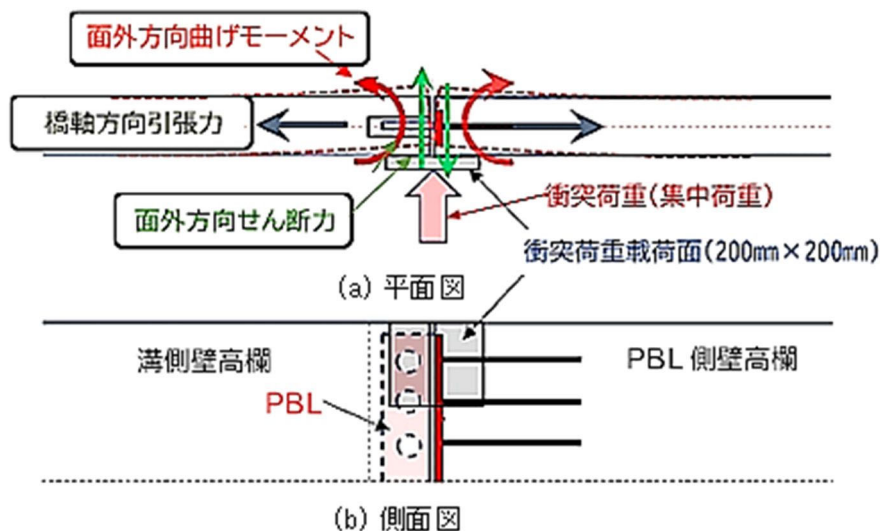


図-3.4.4 接合部に衝突荷重が作用した場合の接合部の変形と発生断面力の概念図

このような挙動と断面力を詳細に把握するためには、PBL を含めた壁高欄全体をモデル化した 3 次元 FEM 解析が適切である。

その解析モデルと衝突荷重の載荷方法を図-3.4.5 に示す。

SB 種壁高欄の断面形状は、図-3.4.1 に示したように、前面にハンチを有し鉛直方向に断面変化する形状であるが、PBL を安全側に設計するため、PBL に設計上大きめな断面力が作用するよう、図-3.4.5 に示す通り、面外変形が大きくなる断面形状として壁高欄の天端幅を 250mm 一定な等断面形状とし、橋軸方向の接合モルタル部の背面側は引張を受けることから、接合モルタルを無視した gap 要素を採用した。また、設計衝突荷重は、PBL に作用する断面力が大きくなるよう、図-3.4.4 に示した 200mm×200mm の載荷面を天端の接合部中央に作用させた⁷⁾。

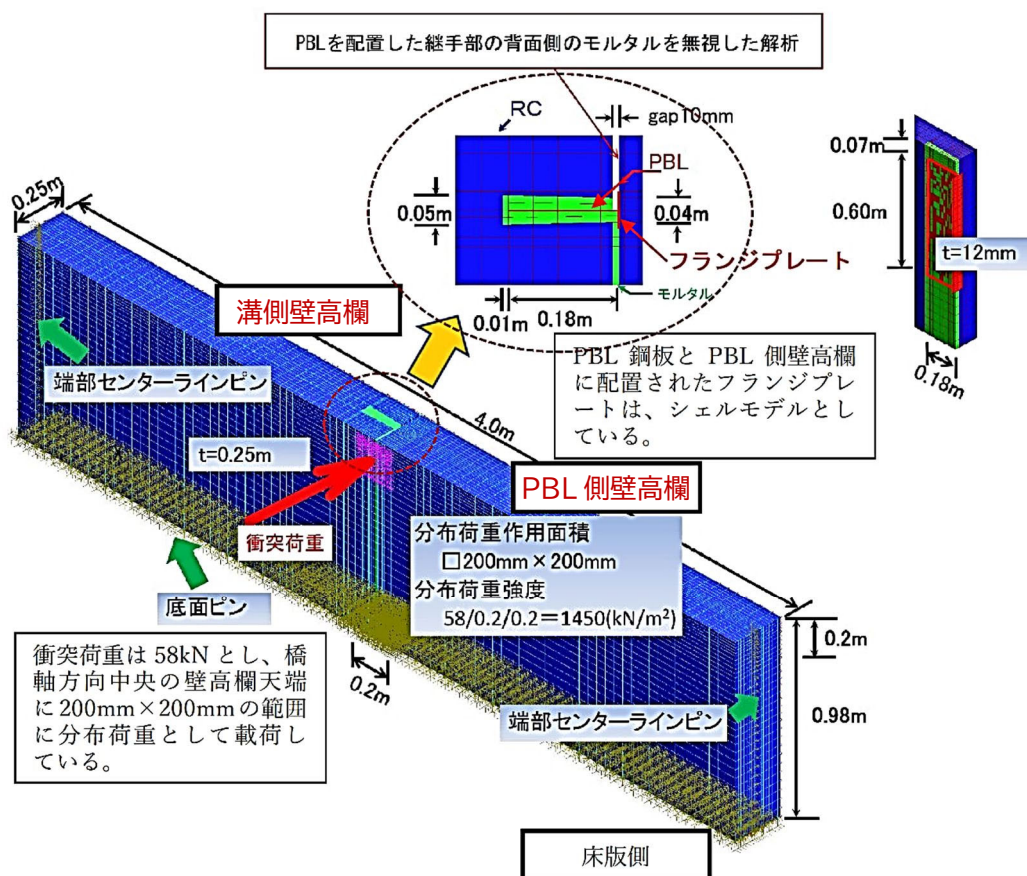


図-3.4.5 PBL を含めた壁高欄全体の 3 次元 FEM 解析モデルと衝突荷重載荷方法

3.4.2 断面力の計算

(1) PCa 壁高欄の部材としての安全性照査のための設計断面力の計算

「3.4.1 断面力の計算方法」の (1) でも述べたが、この場合の設計断面力としての縦方向設計曲げモーメント (M_y) は、図-3.4.1 及び図-3.4.2 より、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 : 縦方向設計曲げモーメント (kN・m/m)
 P : 図-3.4.1 及び図-3.4.2 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、NEXCO では、壁高欄の種別に応じて、天端線荷重 (P) が表-3.4.1 のように定められている⁴⁾。

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、フロリダ型 SB 種の天端線荷重は、P=22 kN/m となる。

従って、フロリダ型 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断面力 (設計曲げモーメント) は、式-3.4.1 及び表-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に作用する設計曲げモーメント

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)	設計曲げモーメント $M_y = P \times x$ (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 PBL 等の安全性照査用設計断面力の計算⁷⁾

「3.4.1 断面力の計算方法」の (2) で述べた通り、衝突荷重が橋軸方向接合部に作用した場合の接合部の安全性照査は、接合構造として PBL を採用しているため、その PBL と PBL 周辺の補強鉄筋の照査となる。

PBL が橋軸方向に引張りを受けた場合、図-3.4.6 に示すように、PBL のジベル孔の両側に二面せん断力が生じることが知られている¹¹⁾。そのため、PBL に作用する橋軸方向引張力を計算する必要があり、図-3.4.5 に示したように、PBL をモデル化した 3 次元 FEM 解析により、PBL に作用する橋軸方向引張力を計算し、ジベル孔に作用する設計せん断力 (二面せん断力) を計算した。その時の衝突荷重は、表-3.4.1 で与えられた集中荷重としての F=58kN である。

そして、3 次元 FEM 解析の結果として、衝突荷重作用時に、PBL に作用する設計断面力は、安全側を考慮して、PBL 鋼板付け根に作用する断面力をそのまま用いることとした。その断面力分布を図-3.4.7 に示す。

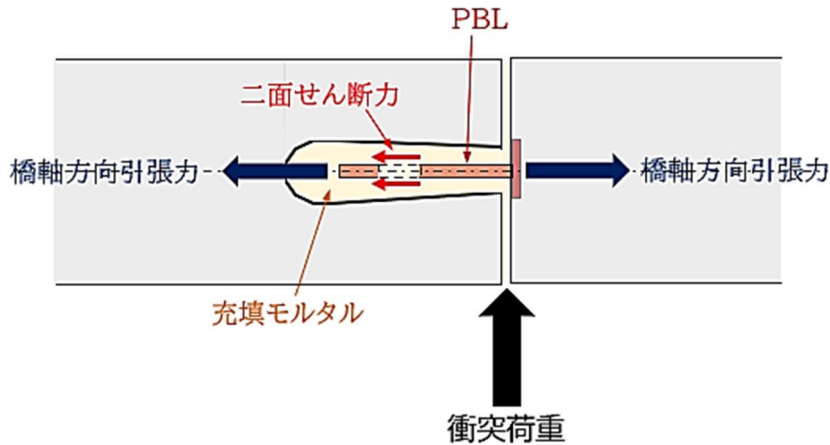


図-3.4.6 DAK式壁高欄のPBLに作用する橋軸方向二面せん断力の作用概念図

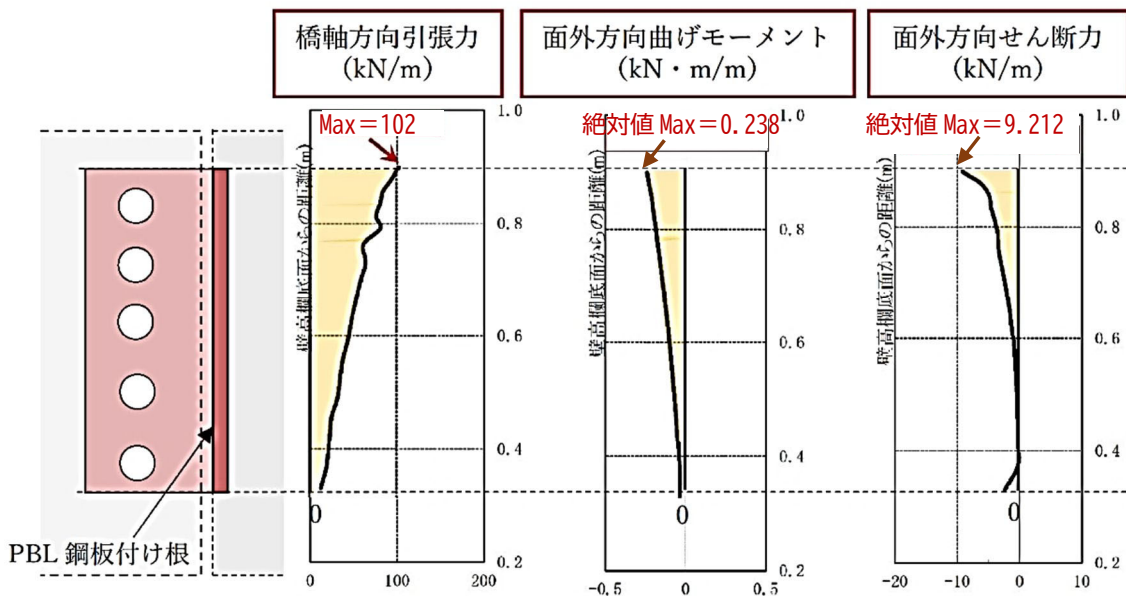


図-3.4.7 衝突荷重作用時にPBL鋼板付け根に作用する設計断面力（図-3.4.4参照）

図-3.4.7から分かるように、各断面力は、衝突荷重載荷位置である壁高欄天端付近で最大となり、壁高欄下方に向かって減衰する挙動を呈する。

3.5 安全性照査のための応力度の許容値

3.5.1 応力度の許容値の考え方

応力度の許容値とは、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PBL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ことをいう。

従って、衝突荷重作用時の応力度の許容値は、衝突荷重を考慮した許容応力度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 応力度の許容値

衝突荷重作用時の各構成材料の応力度の許容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」⁶⁾に準じ、表-3.5.1の通り「1.50」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

従って、表-3.5.1の応力度の許容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許容応力度は、表-3.5.2の通りとなる。

表-3.5.2 衝突荷重作用時における DAK 式壁高欄の各構成材料の許容応力度

構成材料の種類	材料の特性値 あるいは規格	許容応力度 (N/mm^2)	衝突荷重作用 時の割増係数	割増係数を考 慮した許容 応力度 (N/mm^2)
コンクリート	$\sigma_{ck} = 40N/mm^2$	(圧縮) 13.0 ⁽¹⁾	1.5	(圧縮) 19.5
接合モルタル	$\sigma_{ck} = 45N/mm^2$	(圧縮) 15.0 ⁽²⁾	1.5	(圧縮) 22.5
鉄筋	SD345	(引張) 200 ⁽³⁾	1.5	(引張) 300
P B L	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許容応力度とした。

(4)：道路橋示方書に準拠し、鋼材の板厚 40mm 以下の許容応力度とした。

3.6 安全性の照査

3.6.1 照査方針

ここでは、「3.1 設計の基本事項 3.1.2 安全性の照査方針」で述べた通り、DAK 式壁高欄の衝突荷重に対する部材設計による各構成材料の安全性の照査内容と照査結果及び橋軸方向接合部の各構成材料の安全性の照査内容と照査結果までを示す。

また、各安全性の照査に用いる許容応力度は、表-3.5.2 に示した通りである。

一方、PBL の安全性の照査については、「土木学会・複合構造標準示方書(2014 年制定)」¹¹⁾ に準じ照査している。

3.6.2 壁高欄部材の安全性の照査

壁高欄の部材としての安全性照査は、基本、壁高欄縦方向（鉛直方向）の設計曲げモーメント (M_y) に対する主鉄筋応力度の照査としている。

(1) 縦方向（主鉄筋）の鉄筋配置

NEXCO では、「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 5-3 鉄筋コンクリート製防護柵」⁴⁾ に記述されている通り、表-3.6.1 に鉄筋の配置本数、図-3.6.1 に横方向鉄筋の配置図、また、図-3.6.2 に SB 種壁高欄の配筋例をそれぞれ示す。

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-3.6.1 鉄筋の配置本数

種別	縦方向鉄筋 (遮音壁高さ $H \leq 5m$)	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。

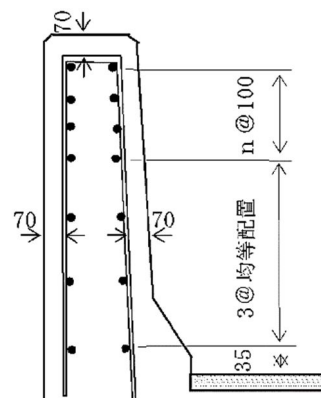


図-3.6.1 横方向鉄筋の配置図

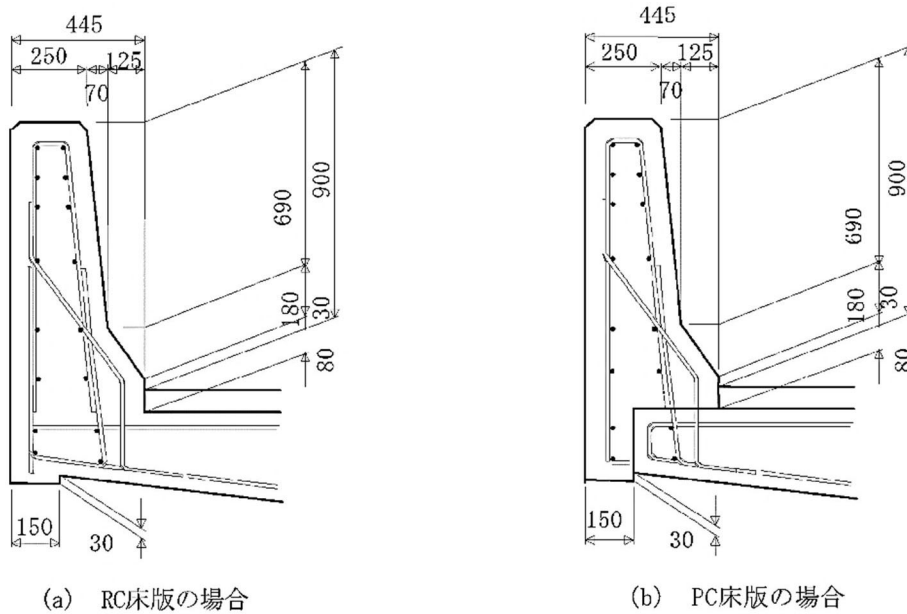


図-3.6.2 鉄筋コンクリート製壁型防護柵の配筋例（種別SB）

(2) 壁高欄の部材としての安全性照査

部材設計の照査断面は、前述の「3.4 断面力の計算 3.4.1 断面力の計算方法」でも示したが、図-3.6.3 に示すように、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とする。

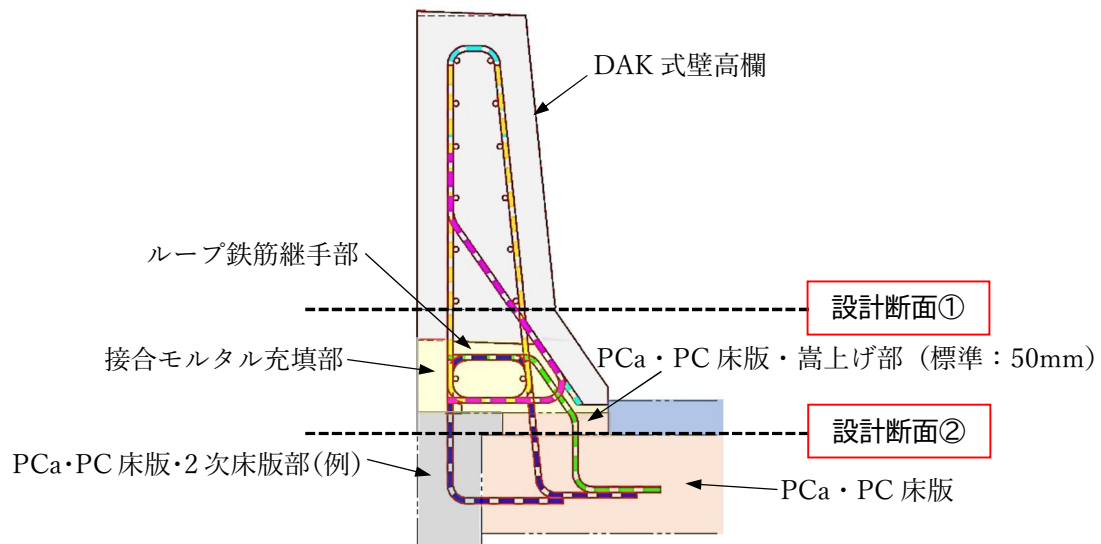


図-3.6.3 DAK式壁高欄の鉄筋配置及び部材設計断面

ここで、図-3.6.3 に示したSB種壁高欄の鉄筋配置について、コンクリートかぶり70mmにおける詳細な標準鉄筋配置と詳細寸法を図-3.6.4 に示す。

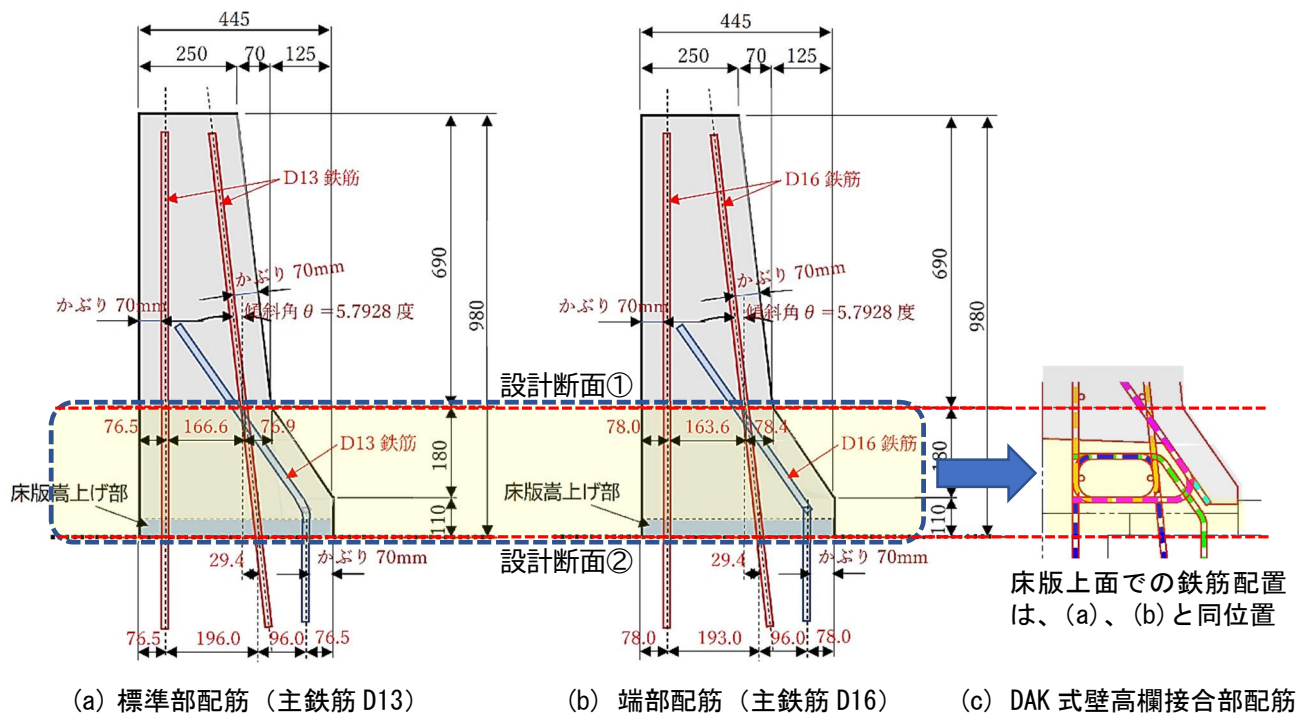


図-3.6.4 かぶり 70mm の場合の SB 種壁高欄の標準鉄筋配置と詳細寸法

そして、部材設計の安全性の照査は、式-3.6.1 に従っている。

$$\gamma_i \cdot S_d / R_{lim} \leq 1.0 \quad \dots \dots \dots \text{式-3.6.1}$$

ここに、 S_d : 衝突荷重作用時のコンクリート及び鉄筋応力度

R_{lim} : 衝突荷重作用時の許容応力度（表-3.5.2 参照）

γ_i : 構造物係数で、一般には 1.0~1.2 とするが、衝突荷重作用時の検討では、 $\gamma_i=1.0$ としている。

以上の条件により、DAK 式壁高欄の部材設計を行い、安全性の照査を行う。

部材設計は、衝突荷重による安全性に対する照査であり、部材を単鉄筋の RC 断面として照査する。照査対象とする応力度は、設計上、圧縮側のコンクリートと引張側の主鉄筋の応力度とし、前面ハンチ筋は無視する。

設計断面①は、PCa 壁高欄内に照査断面があるため、基本、鉄筋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-3.6.3 に示したように、床版を一部嵩上げした構造となっているが、設計断面②の部材設計では、床版上に接合モルタルが充填されていると仮定して、鉄筋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 断面の基本断面構造を図-3.6.5 に示し、標準部鉄筋配置での設計条件を表-3.6.2 に、端部鉄筋配置（1.0m 範囲）での設計条件を表-3.6.3 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。

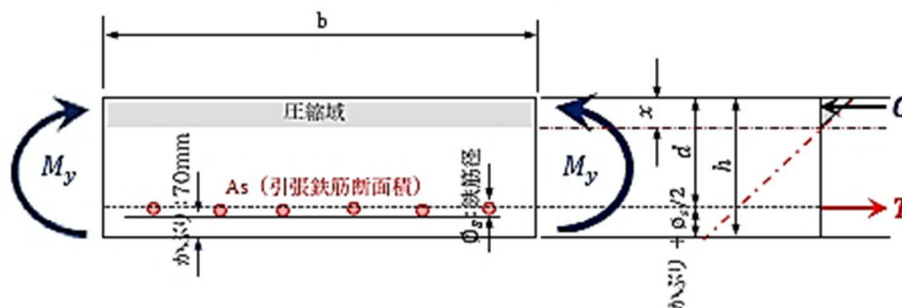


図-3.6.5 設計用 RC 断面の諸元

表-3.6.2 標準部主鉄筋配置 (図-3.6.4(a)) における設計条件

設計断面	設計断面力 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 (mm ²)	ヤング係数比 n
設計断面①	15.180 ⁽¹⁾	1000	243.1 ⁽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 に示した設計断面力 (設計曲げモーメント)

(2) : 図-3.6.4(a) の引張主鉄筋の図心は、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の引張主鉄筋は、若干傾斜して配置されているが、設計用の鉄筋断面積は、傾斜の影響を考えない断面積としている。従って、鉄筋配置は、表-3.6.1 に示す通り、NEXCO の標準鉄筋配置 (D13@125) とし、 $As = (1000/125) \times 126.7\text{mm}^2 = 1013.6\text{mm}^2$ 。

(4) : ヤング係数比 (n) は、コンクリート標準示方書に準じ、RC 断面計算に対して、設計断面①及びモルタル断面とした設計断面②においても 15 を用いた。

表-3.6.3 端部主鉄筋配置 (図-3.6.4(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 (mm ²)	ヤング係数比 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	1588.8	15 ⁽⁴⁾

注) (1) : 端部では表-3.4.2 に示した設計断面力 (設計曲げモーメント) の 2 倍の値としている。

(2) : 図-3.6.4(b) の引張主鉄筋の図心は、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の引張主鉄筋は、若干傾斜して配置されているが、設計用の鉄筋断面積は、傾斜の影響を考えない断面積としている。従って、鉄筋配置は、表-3.6.1 に示す通り、NEXCO の標準鉄筋配置 (D16@125) とし、 $As = (1000/125) \times 198.6\text{mm}^2 = 1588.8\text{mm}^2$ 。

(4) : ヤング係数比 (n) は、コンクリート標準示方書に準じ、RC 断面計算に対して、設計断面①及びモルタル断面とした設計断面②においても 15 を用いた。

表-3.6.2 及び表-3.6.3 の各設計条件による単鉄筋 RC 部材としての衝突荷重作用時の応力照査の結果は、表-3.6.4 の通りである。

なお、応力度の制限値については、表-3.5.2 に示した値である。

表-3.6.4 衝突荷重作用時の単鉄筋 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	材料の種類	照査応力度 S_d (N/mm ²) ①	応力度の制限値 R_{lim} (N/mm ²) 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 6 章 支承及び付属物 5 防護柵 5-3 鉄筋コンクリート製防護柵」⁴⁾ に準じ、表-3.6.1 及び図-3.6.1 の鉄筋配置に従って鉄筋を配置すれば、設計断面力（設計曲げモーメント）に対して十分安全であることが分かる。

また、表-3.6.4 から分かるように、衝突荷重作用時での照査応力度は、応力度の制限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-3.6.1 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考えられる。

一方、DAK 式壁高欄では、床版とPCa壁高欄との接合をループ鉄筋継手(図-3.6.3 参照)としているが、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3次元 FEM 解析モデルによる衝突解析によっても安全性を確認しており、接合モルタル部のループ鉄筋継ぎ手部については、図-3.6.4 に示した標準鉄筋配置の挙動と同等とみなしてよいとした。

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 剛性防護柵(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」⁸⁾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。

3.6.3 壁高欄橋軸方向接合部の安全性の照査

(1) DAK 式壁高欄の橋軸方向接合部の詳細構造

DAK 式壁高欄の橋軸方向接合の構造的長は、「第 2 章 DAK 式壁高欄の特長 2.1 構造的長」でも説明したが、図-3.6.6 に示す通り、PBL 側端部に配置された PBL を溝側端部に配置した縞鋼板内に挿入し、その後、接合モルタルで一体化させる構造である。

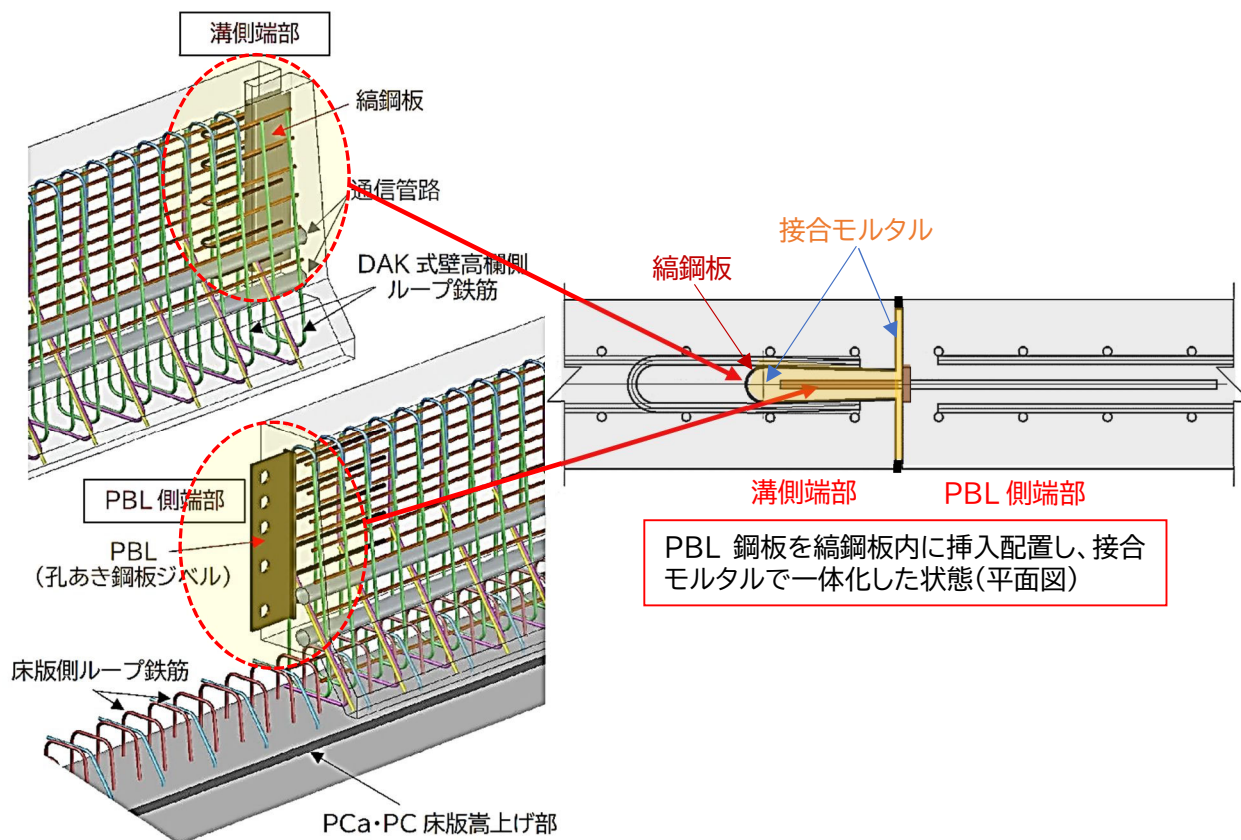


図-3.6.6 DAK 式壁高欄の橋軸方向接合構造 (PBL 構造)

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、PBL の引張力に対する引張抵抗性を向上させるために配置している。

(2) 橋軸方向接合部の PBL 等の安全性照査方法

DAK 式壁高欄の橋軸方向接合部の PBL を含めた安全性の照査方法は、図-3.6.7 に示す照査フローに準じている。

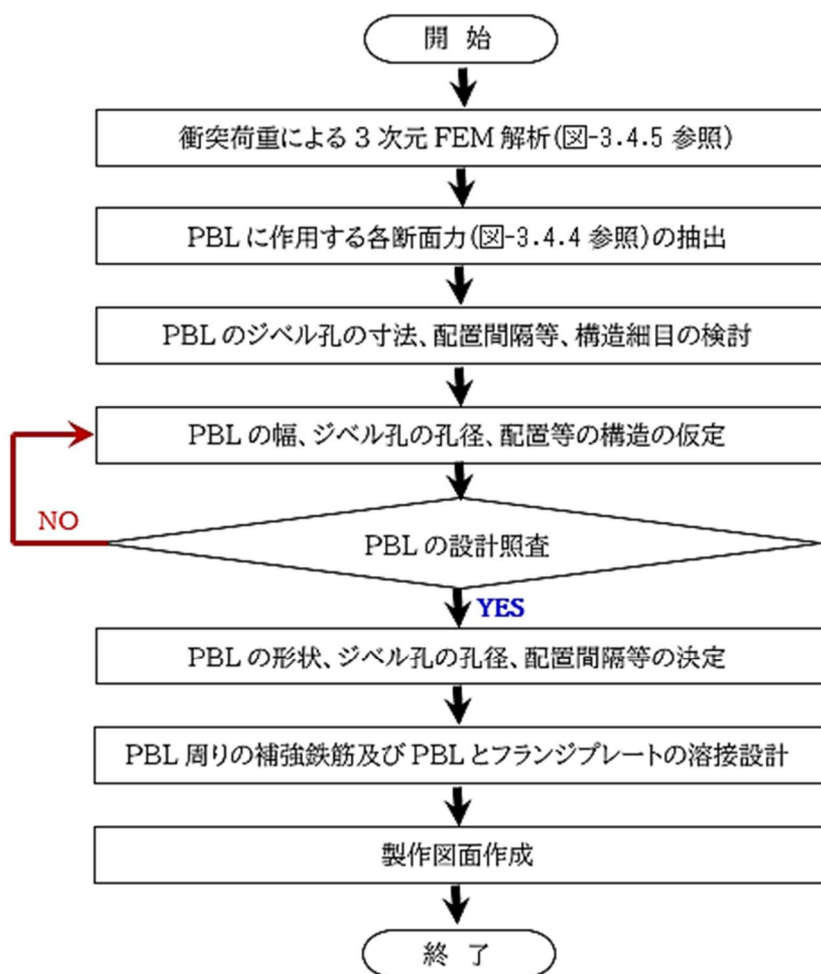


図-3.6.7 DAK 式壁高欄の橋軸方向接合部の安全性照査フロー

(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としては、衝突荷重のみを考慮しており、この衝突荷重は、基本、「車両用防護柵標準仕様・同解説」⁹⁾の計算方法に準じており、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、 $F=58 \text{ kN}$ である。

b) 荷重の組合せ

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) 応力度の制限値

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

(4) 安全性照査のための断面力の算出

a) 照査のための断面力の算出方法の考え方

PBL等の安全性照査のための断面力の算出方法は、「3.4 断面力の算出 3.4.1 断面力の計算方法」の(2)で述べた通りで、各部材の構造を詳細に反映できる3次元FEM解析モデルを用いて弾性解析を実施している。

解析モデルの構築にあたっては、面外変形が大きくなるように、壁高欄天端幅が250mm一定の等断面壁高欄形状とし、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とした。更に、図-3.6.7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すると、衝突荷重によって壁高欄接合部背面のモルタル部とPCa壁高欄部の界面に作用する橋軸方向引張応力度が 1.5 N/mm^2 を超えたため、背面の接合モルタルを無視するためにgap要素を設けた解析モデルとした。

ここで、界面引張応力度の 1.5 N/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制限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) 安全性照査のための断面力の抽出

安全性照査のための断面力の抽出は、以下の各照査のため、「3.4.2 断面力の計算 (2) 橋軸方向接合部のPBL等の安全性照査用設計断面力の計算」で説明したように、図-3.4.7に示したPBL鋼板付け根の各設計断面力とする。

- ① PBLのジベル孔の安全性の照査
- ② PBL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

(5) PBLのジベル孔の安全性の照査

a) 照査方法

照査方法は、「3.4.2 断面力の計算 (2) 橋軸方向接合部のPBL等の安全性照査用設計断面力の計算」の図-3.4.6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に作用する橋軸方向引張力によって、PBLが橋軸方向に引き抜かれようとする挙動に対して、PBL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、PBL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)」¹¹⁾に準ずるものとした。

本標準示方書の規定によると、PBL の照査方法は、PBL の孔にコンクリートが充填された場合の照査方法となっているが、DAK 式壁高欄では、図-3.4.5 に示したように、PBL の孔の中にはモルタルが充填されている。

従って、DAK 式壁高欄の PBL の照査では、貫通鉄筋が無いモルタルのみの 2 面せん断耐力の評価が必要となる。

b) モルタルの 2 面せん断耐力の評価

モルタルの 2 面せん断耐力の評価は、以下の文献を参考に、図-3.6.8 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 PBL 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 PBL 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 PBL 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 PBL 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.

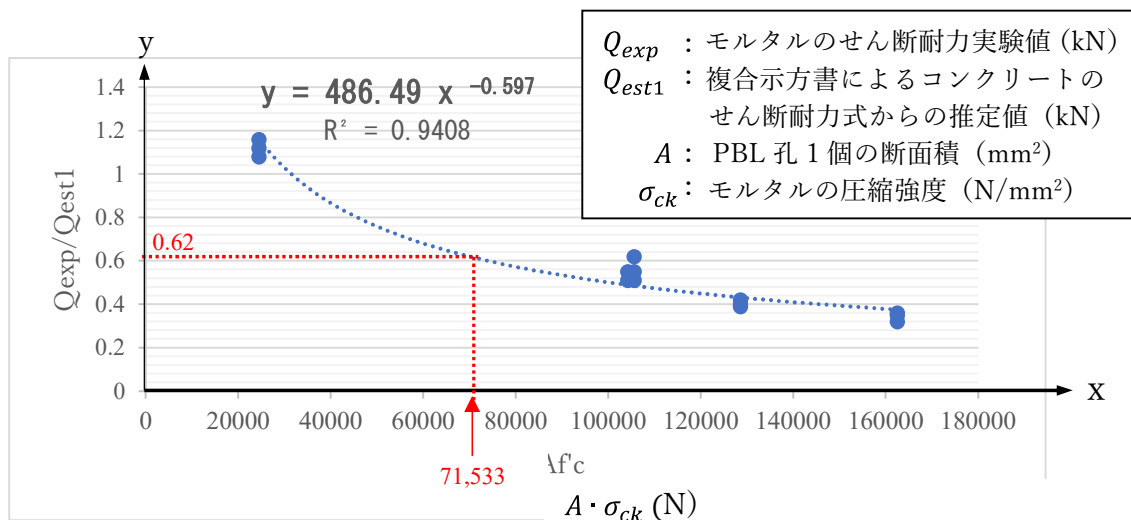


図-3.6.8 モルタルを用いた場合の PBL の 2 面せん断耐力の相関図

DAK 式壁高欄では、PBL のジベル孔の径は 45mm であり、また、接合モルタルの圧縮強度の特性値は $\sigma_{ck(m)} = 45\text{N/mm}^2$ であるため、図-3.6.8 の横軸は、 $A \cdot \sigma_{ck} = 71,533\text{ N}$ となる。

従って、縦軸は、 $Q_{exp}/Q_{est1} \doteq 0.62$ となる。

これより、モルタルの 2 面せん断耐力は、コンクリートの 2 面せん断耐力の 62% と評価できる。

c) PBL 孔の安全性の照査

PBL のジベル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 のジベル孔に作用する橋軸方向引張力、つまり、PBL のジベル孔に作用する 2 面せん断力とそのせん断力による PBL 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」に準じた¹¹⁾。

この「複合構造標準示方書」によると、PBL のジベル孔に充填されたコンクリートの終局耐力は、式-3.6.2 により計算できる。

$$V_{psud} = 1.60 \cdot d^2 \cdot f'_{cd} / \gamma_b \quad (\text{貫通鉄筋のない場合}) \quad \dots \quad \text{式-3.6.2}$$

但し、 $35\text{mm} \leq d \leq 90\text{mm}$ 、 $12\text{mm} \leq t \leq 22\text{mm}$ 、 $24\text{N/mm}^2 \leq f'_{cd} \leq 57\text{N/mm}^2$ の条件下である。

ここに、 V_{psud} : 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) (12mm を採用)

f'_{cd} : コンクリートの設計圧縮強度 (N/mm^2) (接合モルタルとして、 45N/mm^2 とする)

γ_b : 部材係数。一般に 1.3 とするが、ジベル孔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-3.6.2 の γ_b は、1.3 と 1.0 の両方で計算している。

ここで、PBL の孔に充填されるモルタルのせん断耐力は、前述より、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-3.6.2 に低減係数 ρ を乗じて修正した式-3.6.3 を用いて計算している。

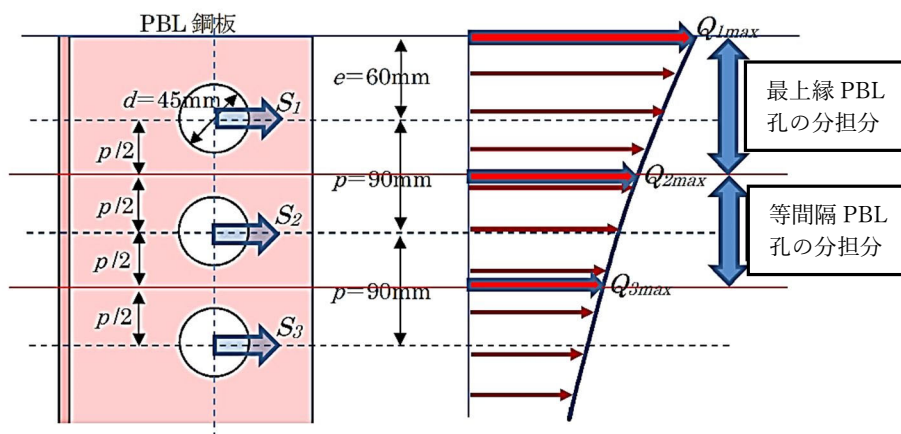
$$V_{psud} = \rho \cdot 1.60 \cdot d^2 \cdot f'_{cd} / \gamma_b \quad \dots \quad \text{式-3.6.3}$$

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 PBL の設計せん断耐力は、安全側を考慮して、式-3.6.3 の低減係数を前述の 0.62 から約 20% 低減して「 $\rho = 0.5$ 」として照査している。

次に、PBL のジベル孔のモルタルが分担する 2 面せん断力については、図-3.4.6 及び図-3.4.7 に示した PBL 鋼板付け根の橋軸方向引張力が、そのまま PBL 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 のジベル孔 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-3.6.9 に示すように、各孔の橋軸方向引張力の分担分とし、安全性の照査を行うため、それぞれ、その最大引張力を用いることとした。なお、PBL のジベル孔の配置は、構造細目より決められた配置としている。



(a) PBL のジベル孔の配置と間隔 (b) PBL に生じる橋軸方向引張力分布

図-3.6.9 ジベル孔 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 のジベル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る。

従って、衝突荷重作用時に PBL のジベル孔に作用する 2 面せん断力は、式-3.6.4 のように関係付けられる。

$$S_1 = Q_{1max} \cdot (e + p/2) \geq S_2 = Q_{2max} \cdot p \geq S_3 \quad \dots \dots \text{式-3.6.4}$$

以上より、照査で用いる PBL のジベル孔の橋軸方向引張力 (作用せん断力) は、 $S_1 = Q_{1max} \cdot (e + p/2) = 102 \text{ kN/m} \times (0.06 \text{ m} + 0.045 \text{ m}) = 10.71 \text{ kN} = 10,710 \text{ N}$ となる。

なお、式-3.6.3 は、終局荷重作用時の耐力として示されるため、これを衝突荷重作用時の作用せん断力に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 倍した制限値以下であることで安全性を確保しているため、PBL を照査する場合の終局荷重作用時の作用せん断耐力は、作用状態を合わせることによって、式-3.6.5 で照査できることになる。

$$\text{PBL の終局せん断力} = \frac{\text{衝突荷重作用時のジベル孔の作用せん断力}(S_1)}{1.5} \times 3 \quad \text{式-3.6.5}$$

これまでの照査方法を基にした照査結果は、表-3.6.5 の通りとなり、衝突荷重作用時の PBL は、十分安全であることを確かめている。

表-3.6.5 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-3.6.3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/mm ²)	γ_b	V_{psud} (N)		終局せん断力 (式-3.6.5) (N)	作用せん断力 (S_1) (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 の安全性の照査

ここでは、表-3.6.5 に示した衝突荷重作用時の作用せん断力 (S_1) に対して、PBL そのものが安全であるかを確認する。

a) 安全性の照査方法

DAK 式壁高欄の構造では、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 ($F=58.0$ kN 作用時) における PBL 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、ジベル孔に橋軸方向引張力 (作用せん断力 (S_1)) (表-3.6.5) が作用した場合、その力を PBL が独立して担うと仮定し、ここでは、PBL 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、PBL をシェルモデルとし、解析モデルの境界条件としては、PBL の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た。これは、安全側を考慮して、PBL と周囲の接合モルタルとの付着が切れたと考え、ジベル孔に充填された接合モルタルのせん断抵抗力が直接 PBL に作用するとした考えである。

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-3.6.10 に示すように、PBL の板厚及び実際のジベル孔の配置と径を考慮したシェルモデルとした。

この場合、ジベル孔に作用させる解析上の荷重については、図-3.6.10 に示すように、PBL に橋軸方向引張力の最大値 (図-3.4.7 及び図-3.6.9 参照) が作用した場合、ジベル孔の背面側にはモルタルによる圧縮力が作用する挙動となることから、引張側のモルタルを無視して、それぞれのジベル孔のモルタルの半分が圧縮側に作用すると仮定した。

従って、この場合の荷重の載荷方法は、図-3.6.10 に示す通りである。

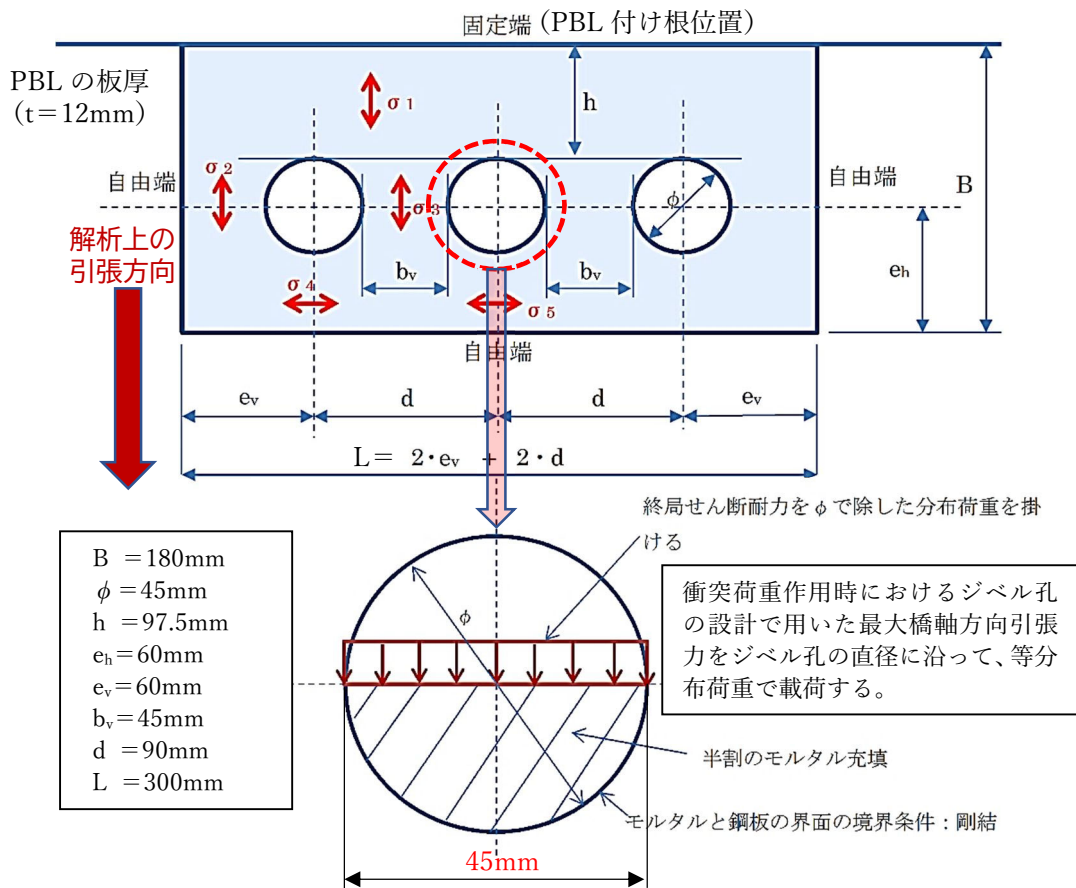


図-3.6.10 解析モデルの構造、境界条件及び荷重の載荷方法

c) 照査結果

解析の結果、PBL に作用する引張応力度は、応力度の制限値より小さいことを確認しており、PBL 自体の安全性も確認されている⁷⁾。

(7) PBL 周りの補強鉄筋の安全性の照査

a) 照査方法

PBL に作用する各断面力に対して、PBL 周りに補強鉄筋を配置しているが、ここでは、これらの補強鉄筋の配置の根拠を示し、各補強鉄筋の安全性の照査方法を示す。

照査方法の内容は、以下の通りである

- ① 補強鉄筋は、図-3.6.11 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の照査では、衝突荷重作用時にジベル孔に作用した橋軸方向引張力（2 面せん断力 (S_0)) が、ジベル孔中心から 45 度に支圧力として PBL の外側の壁高欄部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-3.6.11 の黒の破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た。

③ 補強鉄筋②の照査では、衝突荷重作用時に PBL の付け根に作用する軸力と曲げモーメント（図-3.4.7 の設計断面力）を受ける RC 構造の部材とし、図-3.6.11 の青の破線を設計断面とした。

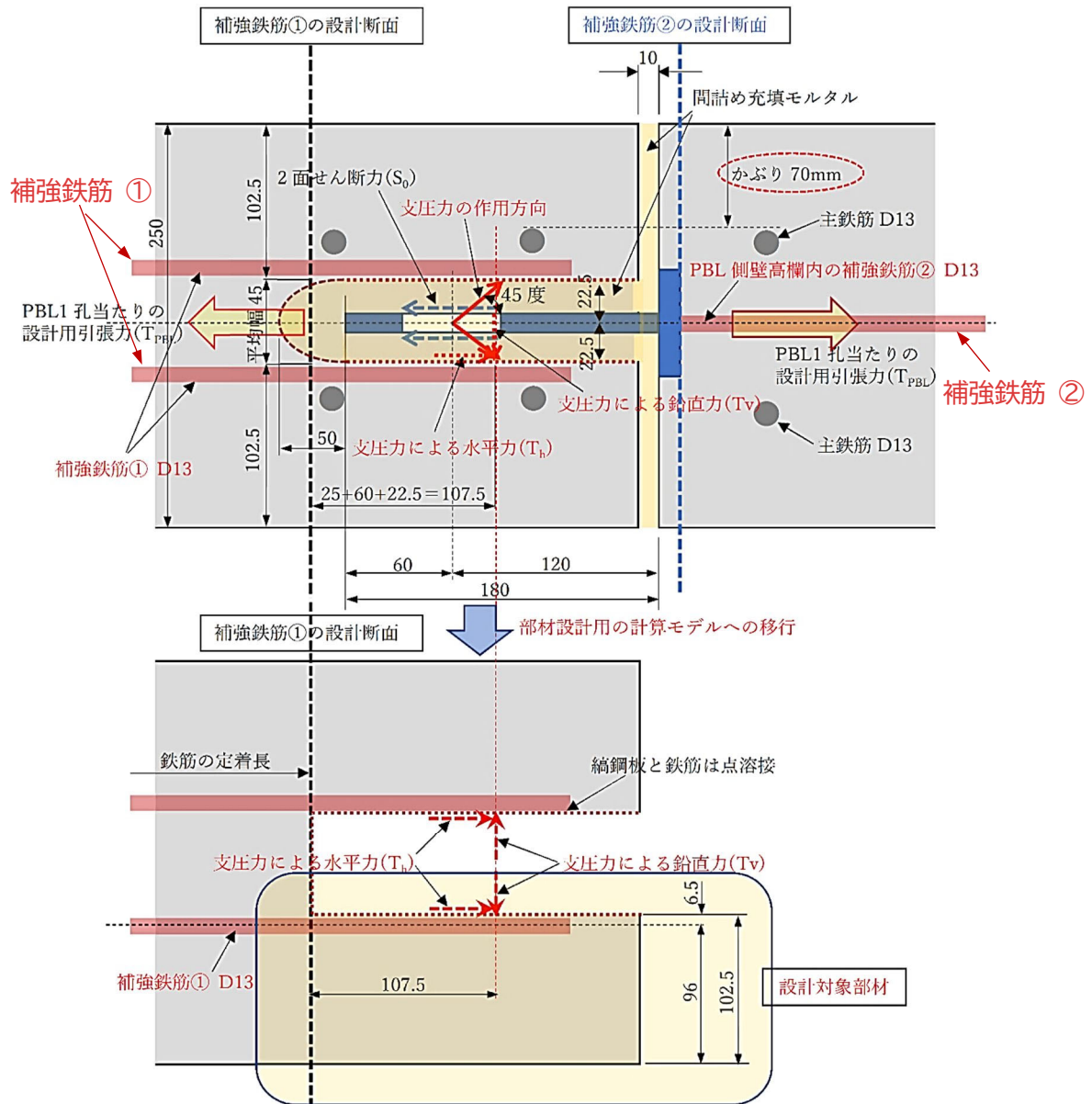


図-3.6.11 設計対象とする補強鉄筋の設計上の配置、設計対象部材及び設計断面位置

b) 補強鉄筋①の照査

補強鉄筋①の照査では、図-3.6.11 の下側の図に示したように、溝側壁高欄の片側を片持ち梁として図-3.6.12 に示す照査モデルにて RC 部材としての部材照査を行い、鉄筋の設計引張応力度が応力度の制限値を下回ることを確認している。

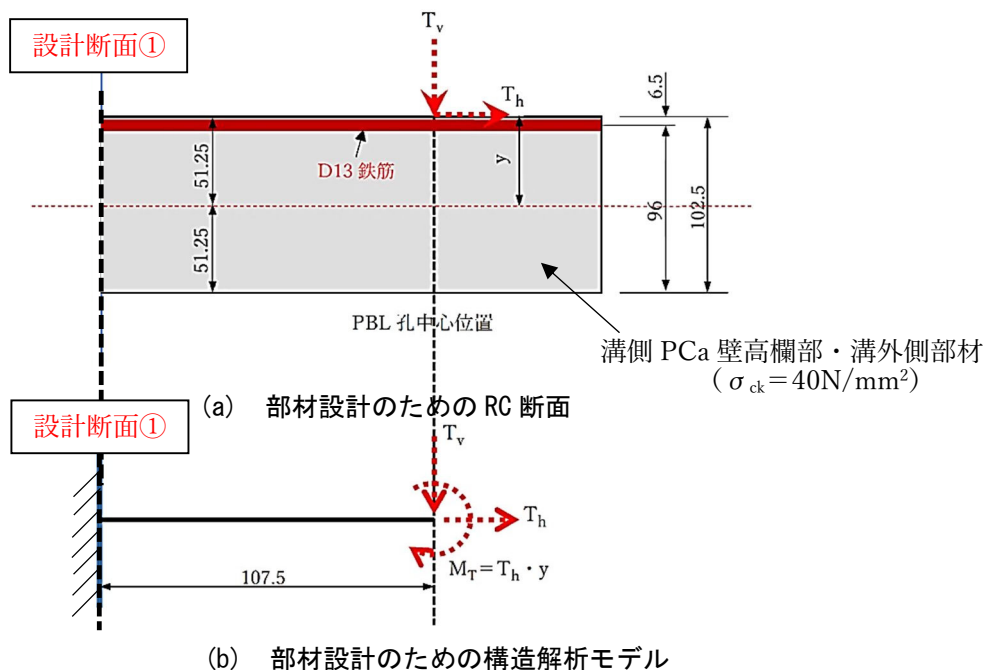


図-3.6.12 部材設計に用いる RC 断面と構造解析モデル

部材照査に用いた設計断面力は、式-3.6.4 で計算したジベル孔 1 個あたりに作用する橋軸方向引張力(10.71kN)が 2 面せん断力としてジベル孔の両側にそれぞれ作用するとした。

従って、図-3.6.12 より、部材照査に用いるジベル孔 1 個あたりに作用する断面力は、以下のように与えられる。

- ・橋軸方向引張力： $T_h = 10.71 \text{ kN} / 2 = \underline{5.355 \text{ kN}}$
- ・曲げモーメント： $M = M_T + T_v \times 0.1075 \text{ m} = \underline{0.850 \text{ kN} \cdot \text{m}}$
- ・せん断力： $T_v = \underline{5.355 \text{ kN}}$

ジベル孔 1 個当たりの分担分を考慮した RC 部材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制限値を下回っており、安全性が確認されている⁷⁾。

c) 補強鉄筋②の照査

補強鉄筋②の照査については、図-3.6.11 の上側の図に示す通り、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する。

衝突荷重作用時の補強鉄筋の設計では、橋軸方向継手部の PBL 付け根には、図-3.4.4 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、図-3.6.13 に示すように、基本、曲げ・軸力部材として、面外せん断力は無視した。

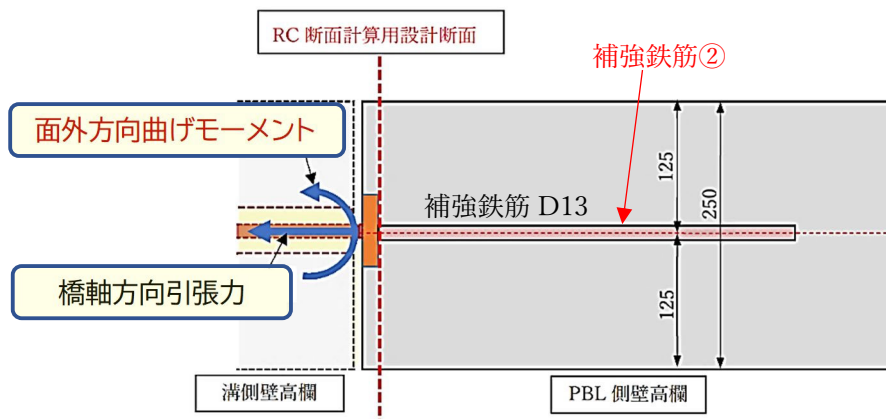


図-3.6.13 PBL 側壁高欄の補強鉄筋②の設計用 RC 断面モデル

ここでは、安全側の照査として、補強鉄筋①の照査方針と同様、PBL 天端の最大断面力（図-3.4.7 に示した最大断面力）は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-3.6.14 に示す通り、断面力の分布を考慮し、PBL 天端からジベル孔 3 個分の有効高さ 310mm の範囲に最大断面力が均一に作用するとし、この範囲に補強鉄筋として D13 鉄筋を 3 本配置した。

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

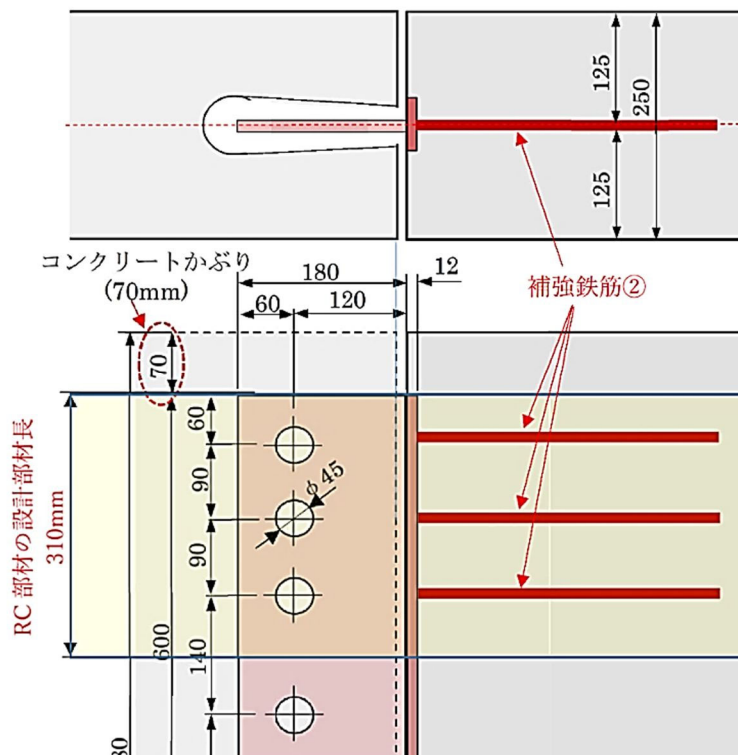


図-3.6.14 補強鉄筋②の設計範囲と補強鉄筋の配置

d) 鉄筋の定着長

補強鉄筋①及び補強鉄筋②は、設計基準強度が $\sigma_{CK} = 40 \text{ N/mm}^2$ のPCa壁高欄コンクリート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」⁶⁾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ことを確認している。

(8) PBL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^{4)、6)、12)}

a) 照査方法

図-3.6.15に示すように、PBLとPBL側壁高欄コンクリートに埋め込まれたフランジプレートとはPBL下端両面で隅肉溶接している。

ここで、隅肉溶接にしたのは、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小さいこと、また、面外変形の影響も小さく金属疲労の影響も無いと考えられるからである。

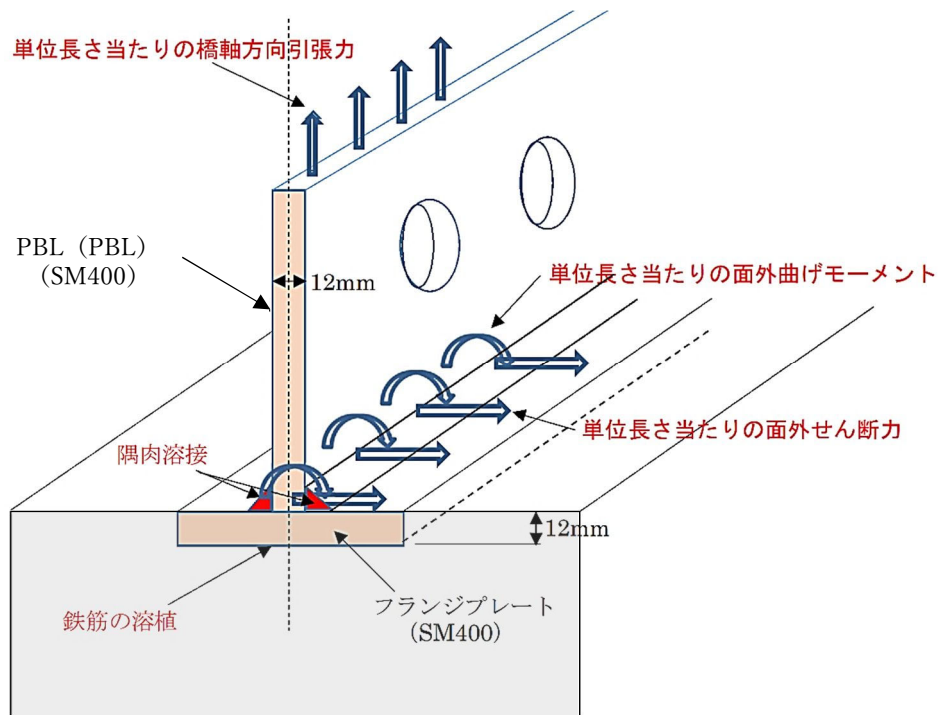


図-3.6.15 溶接設計のための溶接の種類及び方向と作用断面力の関係

この隅肉溶接の照査では、図-3.6.15に示すように、溶接部のPBL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た。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-3.4.7に示したPBL天端の最大断面力が鉛直方向に均一に作用するとした。

b) 隅肉溶接の安全性の照査

隅肉溶接の安全性照査は、「鋼道路橋設計便覧」¹²⁾に準じた。

照査のための隅肉溶接の「脚長」、「サイズ S 」及び「のど厚」の関係は図-3.6.16の通りである。

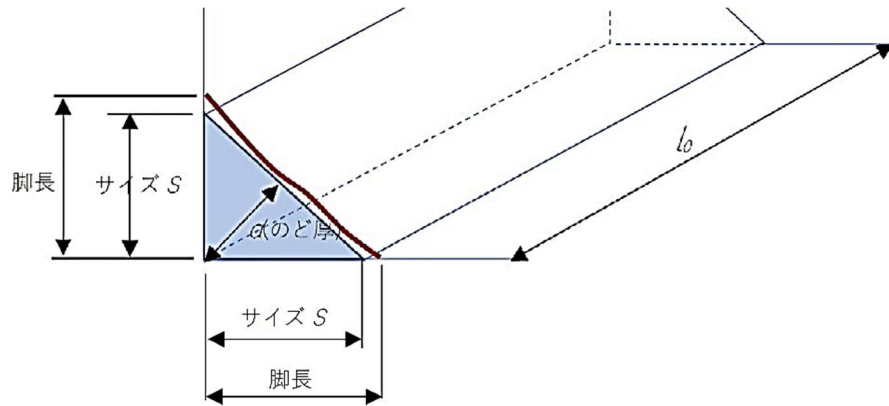


図-3.6.16 隅肉溶接の脚長、サイズ S 及びのど厚の関係

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。溶接する母材の厚さは 12mm であることから、 S を計算すると、 $S = 4.9\text{mm}$ となり、 $4.9\text{mm} \leq S \leq 12\text{mm}$ かつ $S \geq$ 理論のど厚 : 6mm となる。
 有効長(のど厚) : サイズ S の計算より、 $S = 6\text{mm}$ とする。
 のど面積 : $a = \sqrt{2} \cdot S / 2 = 4.243\text{mm} \Rightarrow 4.3\text{mm}$ とする。
 $I = I_0 = 600\text{mm}$ (フロリダ型 SB 種の場合の溶接長さ)
 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) に対する照査

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-3.6.6で行なった。

$$\tau_{b+n} = \frac{M}{I} \cdot z + \frac{N}{\Sigma a \cdot l} \leq \tau_a \quad \dots \dots \dots \text{式-3.6.6}$$

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-3.6.7で行なった。

$$\tau_s = \frac{S}{\Sigma a \cdot l} \leq \tau_a \quad \dots \dots \dots \text{式-3.6.7}$$

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) 合成応力度に対する照査

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、橋軸方向引張力による引張応力度及び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た。

道路橋示方書では、隅肉溶接の場合の照査式は、式-3.6.8 の通り与えられる。

$$\left(\frac{\tau_{b+n}}{\tau_a} \right)^2 + \left(\frac{\tau_s}{\tau_a} \right)^2 \leq 1.0 \quad \dots \dots \dots \text{式-3.6.8}$$

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、衝突荷重作用時における DAK 式壁高欄の「3.6.2 壁高欄部材の安全性の照査」及び「3.6.3 壁高欄接合部（橋軸方向）の安全性の照査」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

3.7.1 鉄筋配置

DAK 式壁高欄の鉄筋配置については、「3.6.2 壁高欄部材の安全性の照査」の表-3.6.1 及び図-3.6.1 に示した通り、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、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」」⁸⁾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、DAK 式壁高欄では、鉄筋配置の標準化を行っており、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 にそれぞれ示す。なお、図-3.7.1 の四角の中に示す「表-3.6.6」と「図-3.6.9」は、NEXCO の資料からそのまま引用した表番及び図番である。

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 (鉛直方向鉄筋に対して)	
	標準部	端部 (1m 範囲)	標準部	端部 (1m 範囲)	壁高欄部 (片側)	ループ鉄筋内 (片側)
SB	D13 @125	D16 @125	D13 @250	D16 @250	D13 6本	D13 1本

注) 鉄筋の規格：SD345

特に、DAK 式壁高欄では、床版側に配置される主鉄筋とな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 壁高欄の形状

(1) PCa 壁高欄の断面形状

DAK 式壁高欄の断面形状は、図-3.7.3 に示す**前面袴構造**を有する形状としている。これは、主に、現場施工における施工の省力化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するとともに、耐久性向上の観点から、橋面防水工が前面袴の下端をカバーするため、壁高欄前面からの水分の浸透を回避できる断面形状としている。

なお、前面袴部では、図-3.7.3 に示すように、袴の先端がコンクリートだけの構造となることから、D13 鉄筋（直筋）を前面ハンチ筋に沿わせ 250mm ピッチで配置し補強している。

また、PCa・PC 床版の嵩上げ高さは、DAK 式壁高欄では、**標準 50mm**としている。

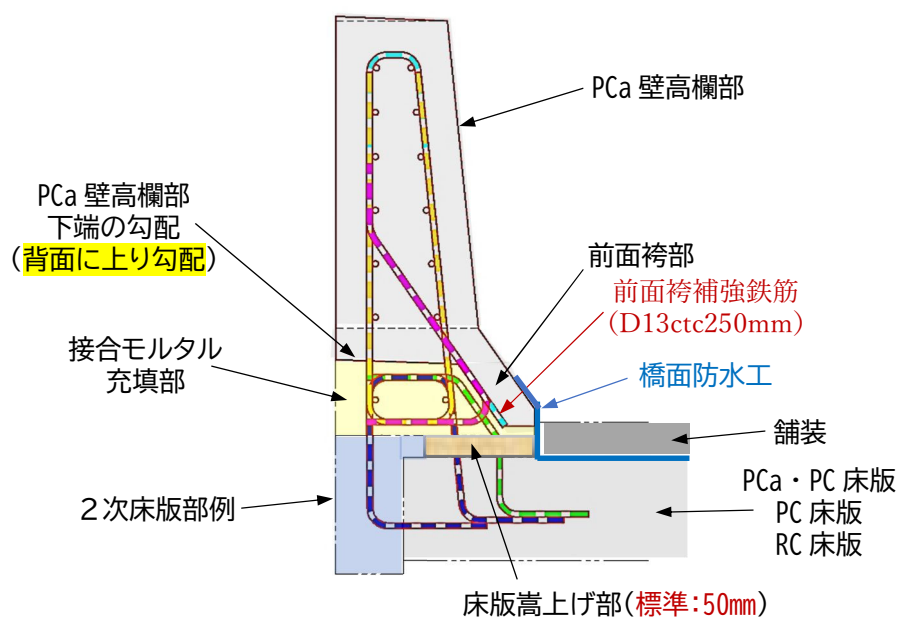


図-3.7.3 DAK 式壁高欄の標準構造と標準形状

PCa 壁高欄側の下端の勾配については、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、接合モルタルの充填がスムーズに横流れして上にあがっていくように、また、充填状況を確認し易くするため、PCa 壁高欄下面の勾配を壁高欄背面側に高くしている。

(2) 溝側壁高欄コンクリート天端の溝の形状

溝側壁高欄の PBL を差し込む壁高欄コンクリート天端の溝の形状については、図-3.7.4 に示すように、背面側コンクリート天端の溝の形状を半円あるいはそれに近い形とすることを基本とする。

この理由として、一つは、PCa 壁高欄天端の切欠き部の形状は、応力集中を生ずるような鋭角部を有する形状ではなく、応力集中を分散させるようなスムージングカーブとすることを目的とするものであり、もう一つは、接合モルタルの充填方法として、壁高欄上面からモルタル充填用ホースをスムーズに挿入できるようにすることを目的としている。そのため、充填ホースの直径を考慮し、少なくとも直径 50mm 程度の円形空間を確保することが望ましい。

この場合、縞鋼板の背面形状については、特に、半円あるいはそれに近い形に規定するものではない。

なお、充填用ホースの直径が 50mm 以上となる場合は、壁高欄コンクリート天端の溝の形状を再度検討する必要がある。

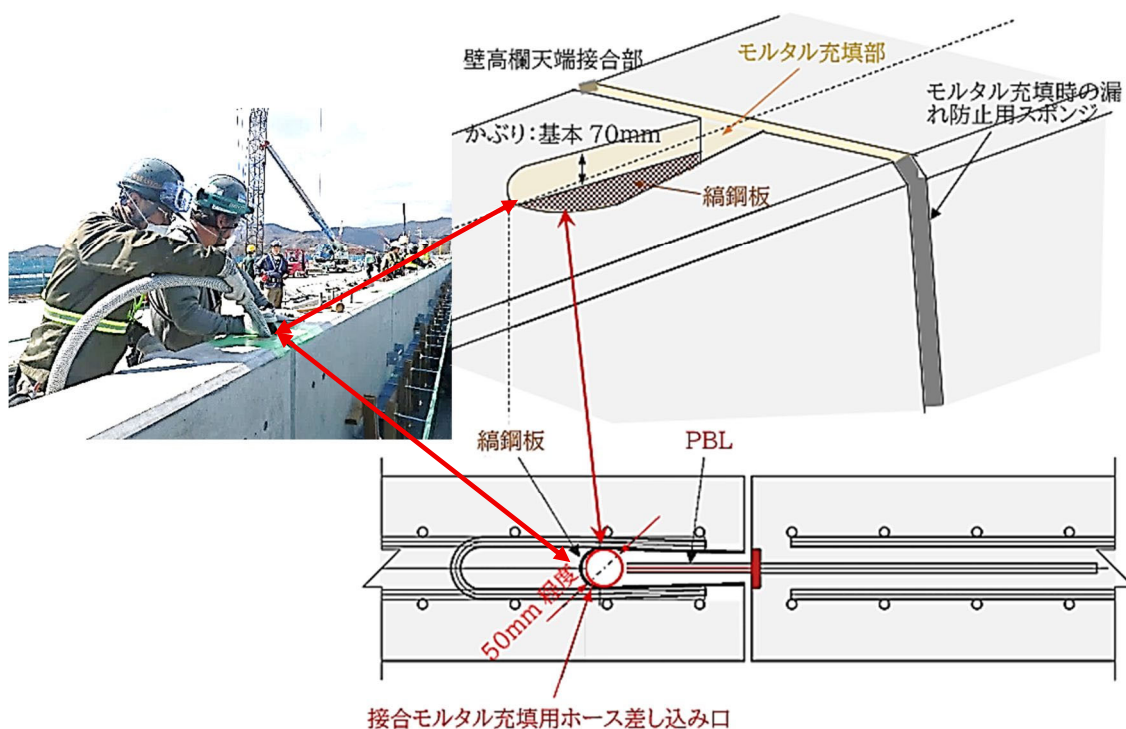


図-3.7.4 溝側壁高欄コンクリート天端の溝の形状

但し、接合モルタルをこの方法以外で充填する場合でも、壁高欄コンクリート天端の形状は、耐久性向上の観点から、**図-3.7.4**に示した形状が望ましいとしている。

3.7.3 コンクリート床版と PCa 壁高欄の接合高さ

DAK 式壁高欄の床版接合部における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は、**図-3.7.5**に示すように、上下の鉄筋の中心間高さとして、橋軸方向の高さのバラツキを考慮した平均値として、 $h_m=100\text{mm}$ 以上確保することが望ましい。

これは、ループ鉄筋継手形状の確保と、接合モルタルの充填量を最小限に抑えるための対応で、衝突試験時のループ鉄筋継手の中心間高さもこの平均高さとして衝突試験を実施し、安全性を確認しているためである。

なお、この中心高さの 100mm 以上については、PCa 壁高欄の高さ調整や施工誤差も含めた考えとしており、橋軸方向にラップして配置されるループ鉄筋の継手配置として、ループ鉄筋の中心間隔（高さ方向）（**図-3.7.5**参照）は、橋軸方向にばらついても、平均的な高さとして 100mm 以上確保することとした。

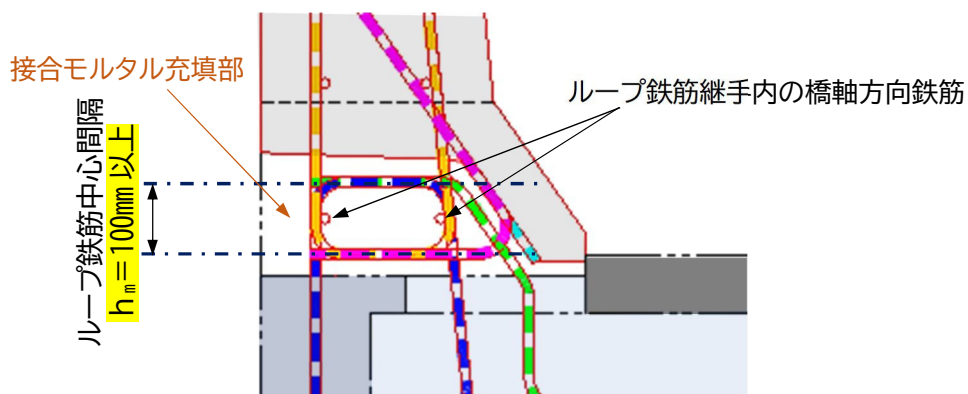


図-3.7.5 DAK 式壁高欄の接合部のループ鉄筋継手の鉄筋中心高さ

また、ループ鉄筋継手内に配置する橋軸方向鉄筋は、**図-3.7.5**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。

これらの鉄筋の配置については、「第 7 章 DAK 式壁高欄の施工 7.2.6 ループ鉄筋内橋軸方向鉄筋及び補強鉄筋の配置」に詳しく説明している。

3.7.5 PBL 付け根の溶接の寸法^{4)、6)、12)}

DAK 式壁高欄の橋軸方向接合部の PBL は、**図-3.6.15** 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している。

DAK 式壁高欄の PBL とフランジプレートとの隅肉溶接の寸法は、「**3.6.3 壁高欄接合部（橋軸方向）の安全性の照査（8）PBL 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-3.7.7** 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 でよいとした。

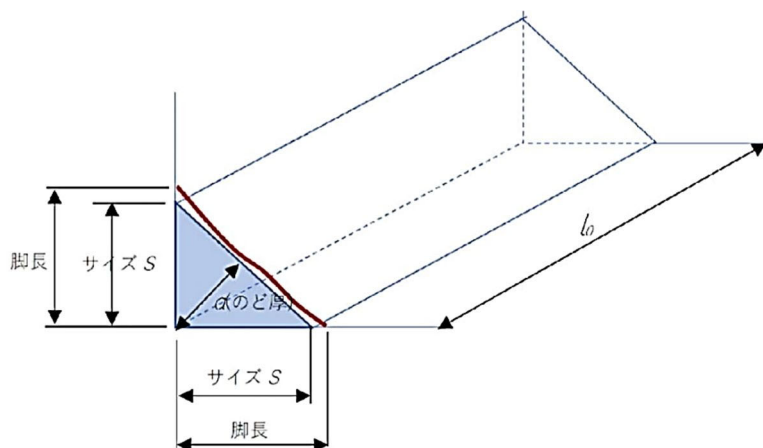
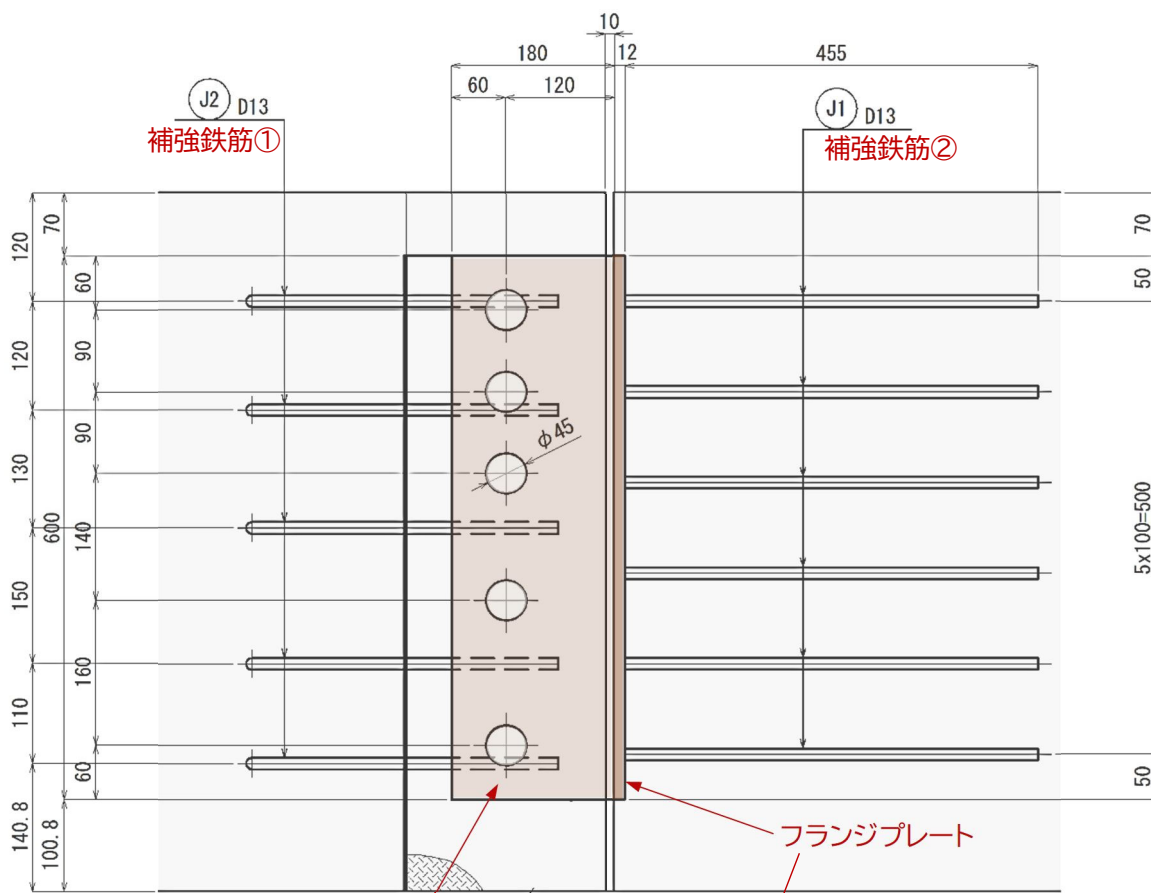


図-3.7.7 PBL とフランジプレートとの隅肉溶接の寸法

3.7.6 PBL 及び補強鉄筋の標準配置と標準寸法

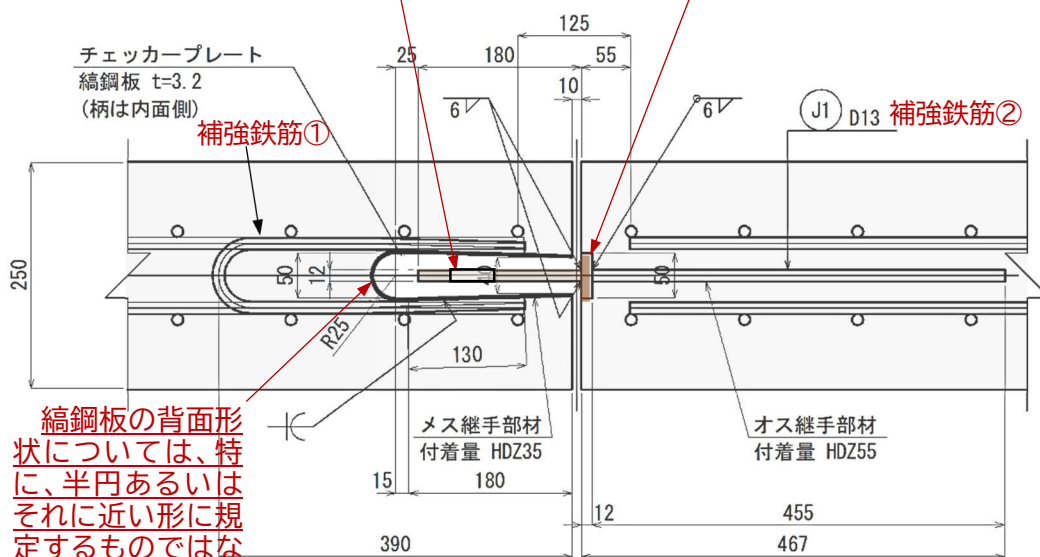
NEXCO・SB 種壁高欄（コンクリートかぶり 70mm）に準じた場合、DAK 式壁高欄では、PBL、**補強鉄筋①**及び**補強鉄筋②**に対しては、応力照査で得られた結果を反映し、また、構造細目を考慮して、**図-3.7.8** に示す標準配置と標準寸法を決めている。

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よいとした。



孔あき鋼板

(a) 側面図



(b) 平面図

図-3.7.8 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例

3.7.7 PCa 壁高欄同士の橋軸方向の接合方法と寸法

DAK 式壁高欄では、図-3.7.8 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、その間隔を含めた施工誤差を途検討してよいとしている。

例えば、「第7章 DAK 式壁高欄の施工 7.2.3 PCa 壁高欄の建込み」に通信管路の接合に関する施工誤差として、上記の設計間隔 10mm を含め、前後、上下等に $10\text{mm} \pm 5\text{mm}$ まで許容できるとしているため、この表記を参考にしてもよい。

3.7.8 PCa 壁高欄の縦断線形に対する配置

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-3.7.9 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。

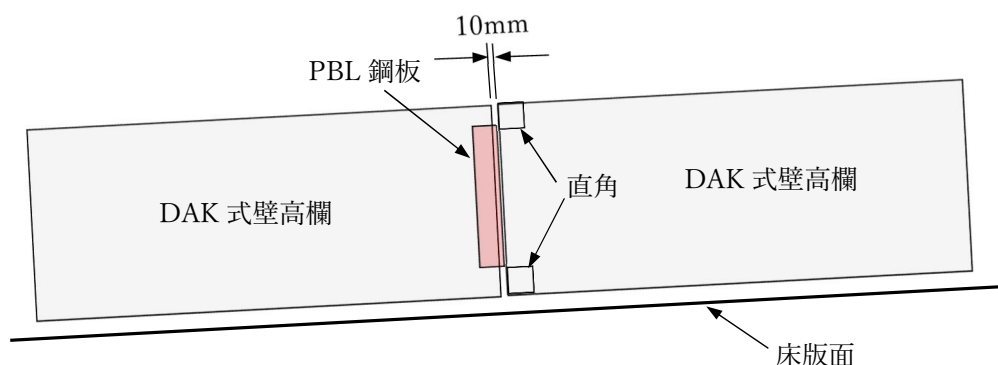


図-3.7.9 PCa 壁高欄の縦断線形に対する配置

そして、壁高欄同士の接合面を常に鉛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方法

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できるため、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-3.7.10 に示すが、この例は、PBL のジベル孔に補強用の U 字筋（基本、D13 鉄筋）を配置した例である。

PBL の安全性の照査並びに PBL 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配置方向を勘案して、橋軸方向に配置したものである。

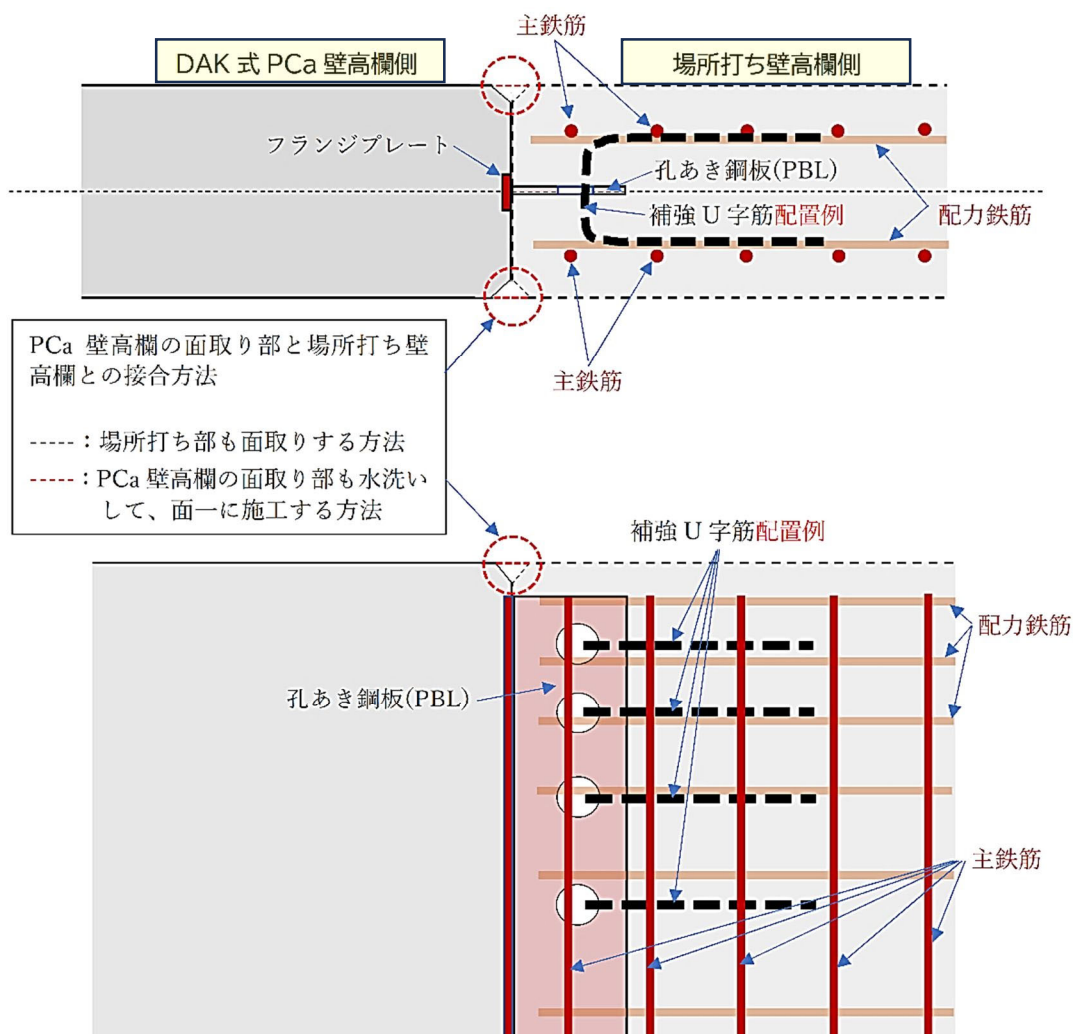


図-3.7.10 DAK 式壁高欄と場所打ち壁高欄の接合例

この場合、PBL 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、PBL のジベル孔に補強 U 字筋を配置する方法を推奨している。

但し、ジベル孔には、コンクリートの粗骨材が回ることが望ましく、そのためには、ジベル孔に配置した補強U字筋とのあきが、粗骨材の4/3倍以上、つまり、 $20\text{mm} \times 4/3 = 27\text{mm}$ 以上確保することが望ましい。例えば、**図-3.7.10**に示すように、ジベル孔の端部に補強U字筋を接し配置した場合、ジベル孔の径が45mmであるため、鉄筋とのあきが $45\text{mm} - 13\text{mm} = 32\text{mm}$ となり、27mm以上確保できる。

また、**図-3.7.10**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か、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よいとしている。

3.7.10 通信管路の構造と配置

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。

(1) 通信管路の構造

DAK式部高欄内に配置する通信管路は、基本、**写真-3.7.1**に示す「バネ式通信管路」を標準としている。本バネ式通信管路は、「接合管」が「バネ内挿管」に押し込まれた状態でストッパーで仮止めされ、DAK式壁高欄建込み、高さ調整後、ストッパーを開放して、「接合管」がバネにより「受管」に押し込まれることにより、通信管路が連続する構造となっている。

DAK式壁高欄における通信管路の配置状況を**図-3.7.11**に示す。

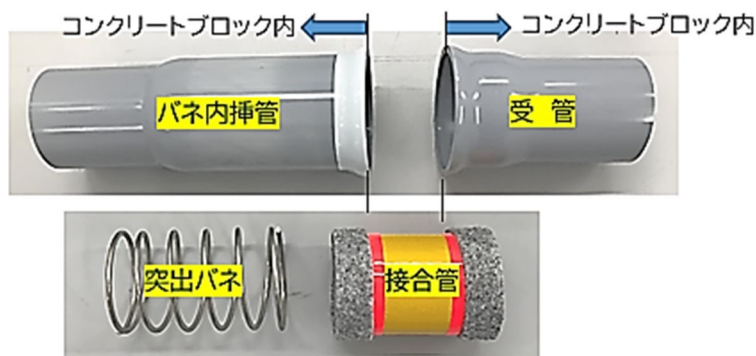


写真-3.7.1 バネ式通信管路の構造

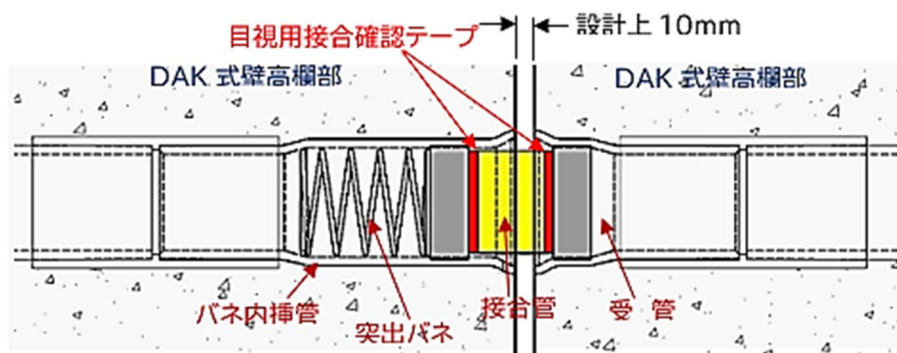


図-3.7.11 バネ式通信管路がDAK式壁高欄に配置された構造図

本通信管路の詳細については、「第6章 PCa 壁高欄の製作 6.5 通信管路の配置」で述べている。

(2) 通信管路の配置

「第2章 DAK 式壁高欄の特長」でも示したように、通信管路の配置は、溝側壁高欄部に縞鋼板が配置されるため、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、通信管路は、基本、VE54 管（内径：51mm、外径：60mm が標準）と VE42 管（内径：40mm、外径：48mm が標準）があり、両者の組合せや同径配置等がある。

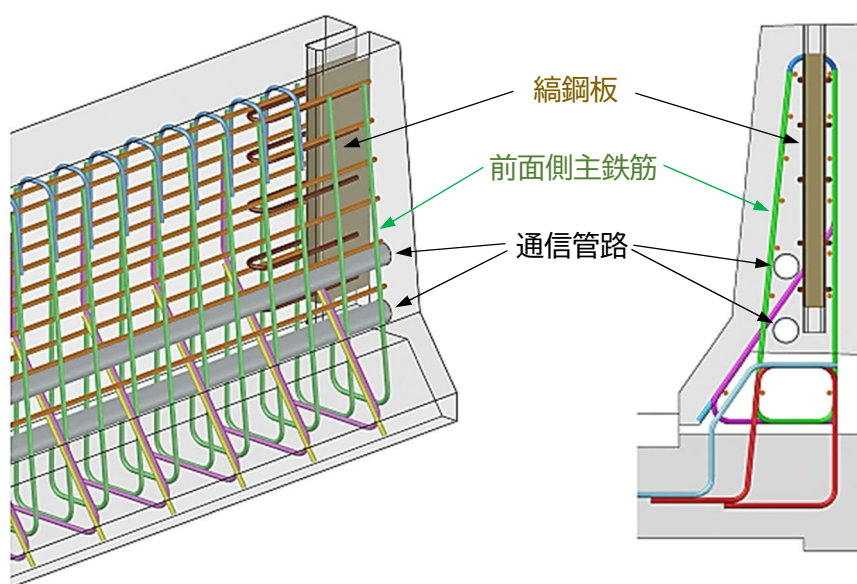


図-3.7.12 通信管路の配置と配置

通信管路の配置については、配置スペースの制約があることから、通信管路の種類や条数等により、コンクリートかぶり 70mm で配置できるかを検討し、必要通信管路が配置できない場合は、かぶりを小さくできるか、また、その時は、構造的及び耐久性上の観点から安全性を照査する必要がある。結果として、エポキシ樹脂塗装鉄筋を使用することもある。

DAK 式壁高欄でコンクリートかぶりが 70mm の場合のバネ式通信管路の標準配置では、図-3.7.13 に示すように、VE54 管が 2 条、VE42 管が 1 条配置となる。この場合、PBL の配置は、壁高欄天端の中央配置である。一方、コンクリートかぶりを 60mm とした場合には、図-3.7.14 に示すように、VE54 管が 4 条配置可能となっている。但し、この場合は、図から分かるように、PBL の配置位置を壁高欄天端中央から、背面側に 10mm ずらしている。

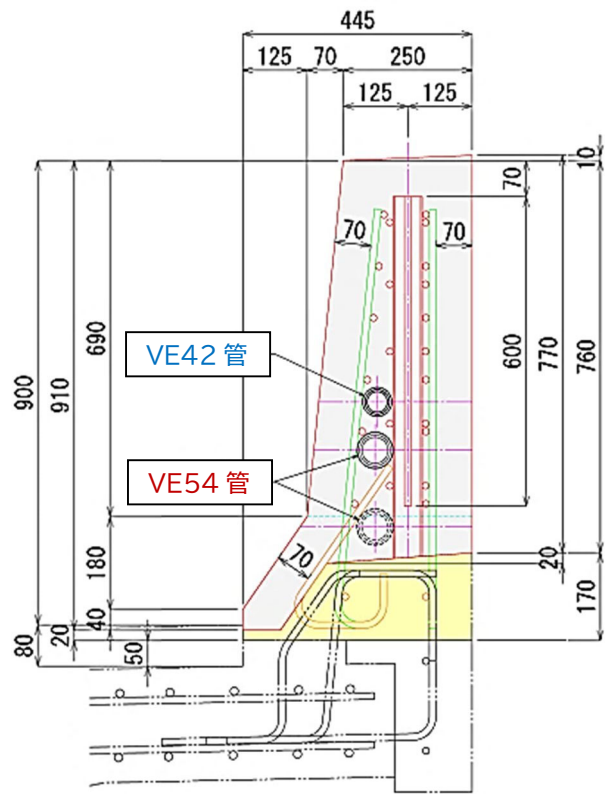


図-3.7.13 DAK 式壁高欄かぶり 70mm の場合の通信管路の配置例

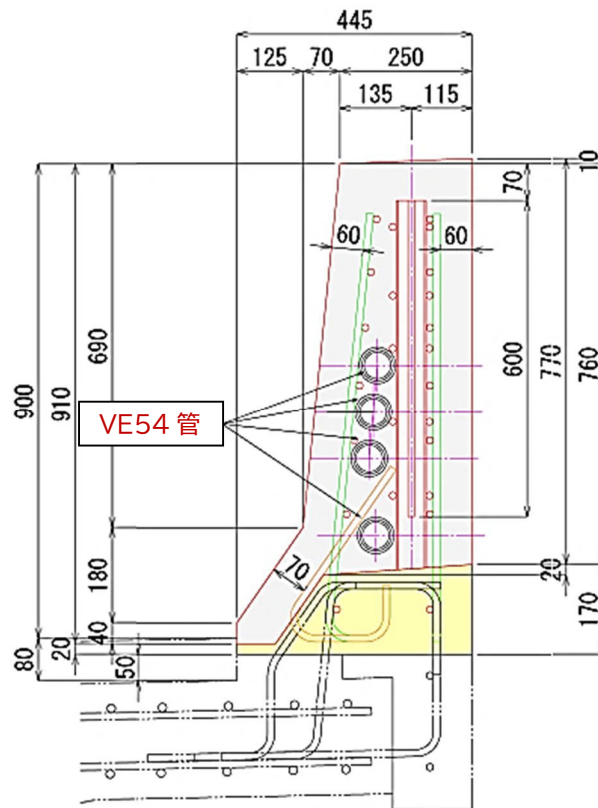


図-3.7.14 DAK 式壁高欄かぶり 60mm の場合の通信管路 VE54 管 4 条の配置例

PBLを背面側に10mmずらすことにより、PBLの標準配置と異なる配置となるため、この場合の構造的変更に伴う接合部の力学挙動については、別途、解析等により安全性を確認している⁷⁾。

3.7.11 斜角及び平面線形に対するループ鉄筋の配置¹⁴⁾

橋梁に斜角や平面線形を有する場合、床版にループ鉄筋を配置する場合には、床版の種類によっては、ループ鉄筋の配置がDAK式壁高欄の標準配置と異なる場合がある。その配置例を図-3.7.15に示す。

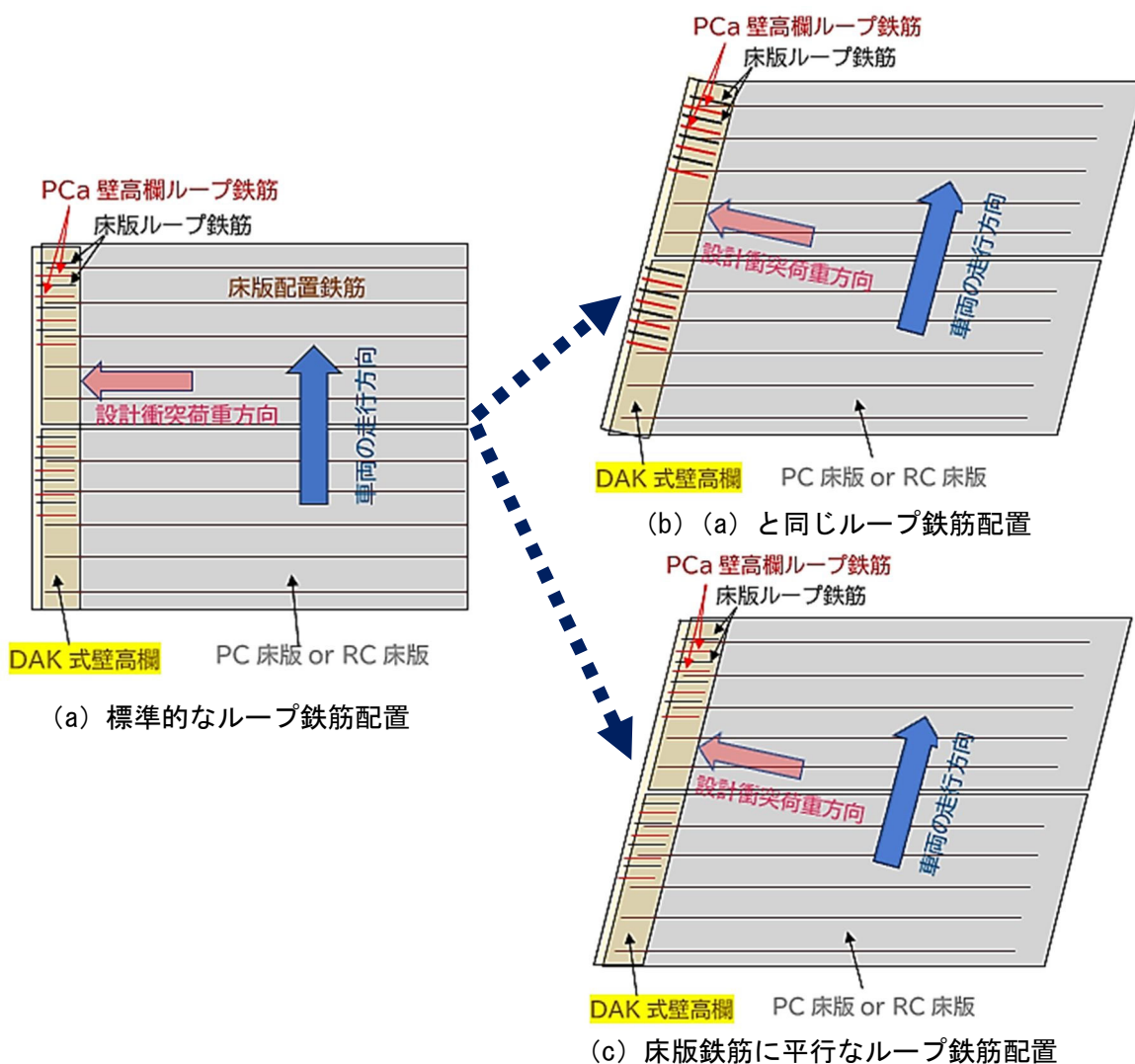


図-3.7.15 DAK式壁高欄に斜角を有する場合のループ鉄筋配置例

DAK式壁高欄の場合、ループ鉄筋配置は、基本、衝突荷重の作用方向に配置されるのが標準である(図-3.7.15(a)及び(b))。しかしながら、例えば、図-3.7.15(c)に示すように、橋梁に斜角を有する場合、通常、床版に配置されるループ鉄筋は、配置上、床版の主鉄筋方向に合わせて、同じ方向に配置させる場合が多い。

この場合のループ鉄筋配置による DAK 式壁高欄の衝突荷重に対する安全性については、ループ鉄筋の配置角度が、標準配置に対して 45 度までの角度については安全であるとしている¹⁴⁾。

また、平面線形に対する対応については、PCa 壁高欄同士の接合部に配置される PBL の配置上の対応があるが、DAK 式壁高欄では、PBL を縞鋼板を配置した溝側のブロックに差し込む構造となっているため、PBL が縞鋼板内に配置できる範囲であれば、接合部の折れ角で対応可能となっている。

但し、この場合には、床版の配置形状等も関係するため、全体的な配置計画が重要である。

これらの対応及び対策については、別途、「DAK 式プレキャスト壁高欄の斜角及び平面線形を有する橋梁へのループ鉄筋配置に関する基本方針」¹⁴⁾として詳しく纏めている。

3.7.12 PCa 壁高欄の割付け

(1) DAK 式壁高欄のブロック長

DAK 式壁高欄の場合、PCa 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、更新工ことに用いられる PCa・PC 床版の幅等を考慮して、**図-3.7.16** に示すように、4.0m を基本としている。

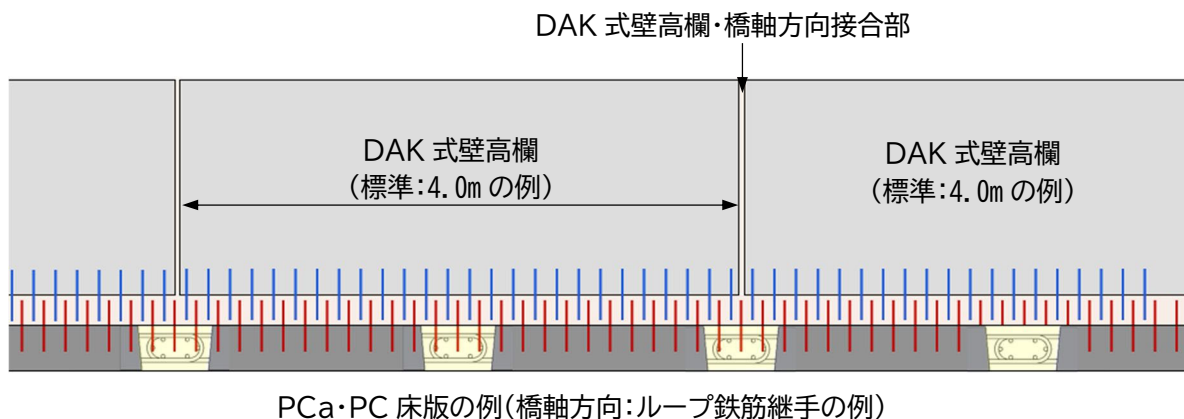


図-3.7.16 DAK 式壁高欄の標準配置例（側面図）

但し、橋長の関係等、途中で調整ブロックを必要とする場合は、標準ブロック長以外の任意の長さで製作できることから、DAK 式壁高欄のブロック長については、PCa・PC 床版の製作幅、縦断線形、平面線形の応じた調整、建込み時の荷揚げ設備等を勘案してブロック長を計画することが重要である。

(2) DAK 式壁高欄の標準部の割付け

DAK 式壁高欄の標準部の割付けは、これまでの実績では、**図-3.7.16** に示すように、PCa・PC 床版の製作幅に合わせて DAK 式壁高欄の長さを決めているケースが多い。

これは、DAK 式壁高欄の建込みに関係し、図-3.7.16 に示すように、PCa・PC 床版の配置に合せ、PCa・PC 床版幅の 2 倍の DAK 式壁高欄のブロック長とすることが一般的であり、床版の接合部と DAK 式壁高欄の接合部を同じ位置にすることで、縦断線形や横断線形に対しても柔軟に割り付けの対応ができるためである。

但し、この場合には、PCa・PC 床版の接合部と DAK 式壁高欄の接合部が同じ位置となる。部材同士の接合部は、その接合構造の種類により、場合によっては連続体に比べ構造性が低下する可能性があることが知られている。そのため、**接合部を一致させることで、構造性能が低下すると考えられる場合には、PCa・PC 床版の接合部と DAK 式壁高欄の接合部が同じ位置にならないよう、設計上配慮するか、接合部の位置を変更することが難しい場合は、構造性能の低下が生じないような対策が必要になる。**

(3) 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、中間支点上の活荷重等による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、PCa ブロックの端面は、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、端面のフラットなブロックの製作例を写真-3.7.2 に示す。

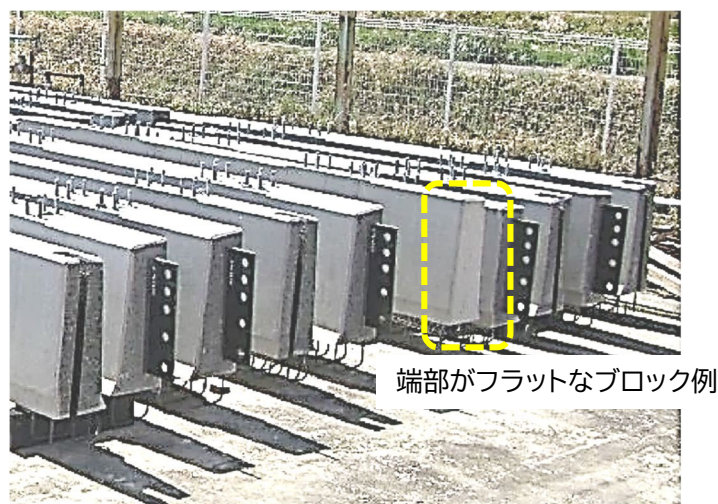


写真-3.7.2 DAK 式壁高欄の端部がフラットなブロック例

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。

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、支点上の端面がフラットなブロックを基準として割付けてもよい。また、支間長内での壁高欄の構造を考慮して、「(1) DAK 式壁高欄のブロック長」で記した内容も考慮し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PCa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、適切な壁高欄構造や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ため、製作上、端尺なブロックが少なくなるような合理的なこと前計画が必要である。

(4) 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、PCa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方法」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-3.7.17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。

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。

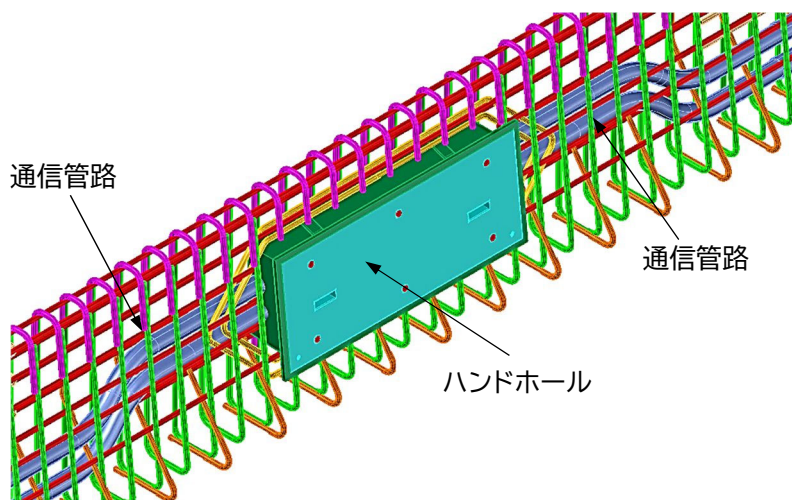


図-3.7.17 ハンドホールの設置概念図

第4章 DAK 式壁高欄の塩害に対する耐久性

4.1 耐久性照査の考え方

塩害に対する壁高欄コンクリートの耐久性の照査については、基本、「コンクリート標準示方書【設計編:標準】2017年制定」(以下、標準示方書という)の「2編 耐久設計及び耐久性に関する照査」、「4編 使用性に関する照査」¹⁵⁾及びNEXCO 中日本の「壁高欄の塩害に対する耐久性照査方法(案)」¹⁶⁾に準じている。ここで、2017年制定の「標準示方書」を準用したのは、これまでのDAK式壁高欄の塩害に対する耐久性の照査については、2017年度制定版を基本に行っているため、整合性を図るためである。

DAK式壁高欄の塩害に対する耐久性については、「橋梁と基礎、Vol. 55、2021年4月」³⁾に報告の通りで、図-4.1.1は、普通ポルトランドセメント(以下、普通セメントという)を用いた既存の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の見掛けの拡散係数と経過年数の相関を示したものである。

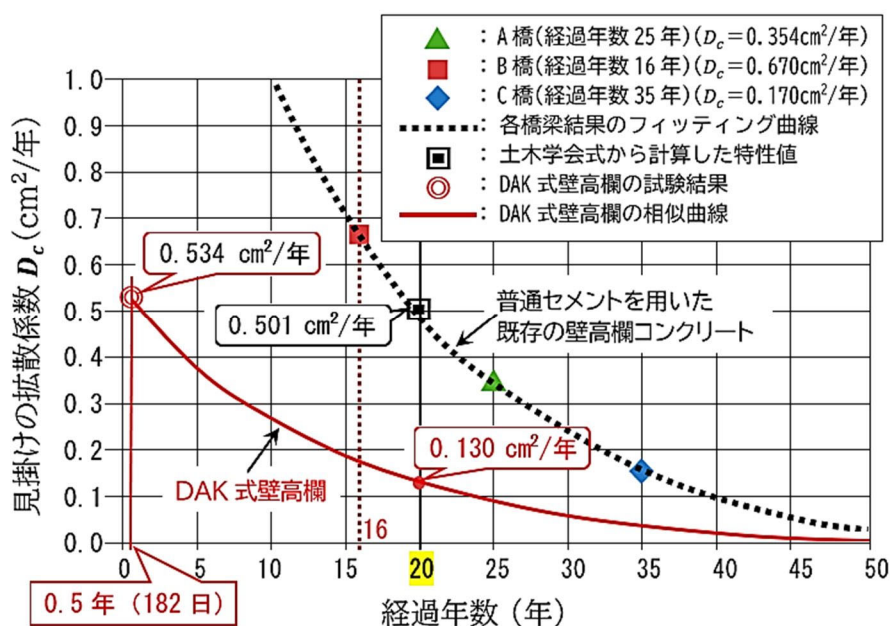


図-4.1.1 既存の普通コンクリートとDAK式壁高欄コンクリートにおける見掛けの拡散係数と経過年数の相関図

図-4.1.1より、普通セメントを用いた場所打ち壁高欄コンクリートの塩化物イオンに関する拡散係数の特性値は、標準示方書より $D_k=0.501\text{cm}^2/\text{年}$ と計算されるのに対し、DAK式壁高欄コンクリートの見掛けの拡散係数は、普通セメントを用いた場所打ち壁高欄コンクリートの経過年数20年に相関させた見掛けの拡散係数に整合させると、 $D_c=0.130\text{cm}^2/\text{年}$ となる³⁾。この値は、DAK式壁高欄コンクリートの塩化物イオンに関する拡散係数の特性値(D_k)とみなすことができると考えられるため、DAK式壁高欄コンクリートの塩害に対する耐久性照査は、この塩化物イオンに関する拡散係数の特性値($D_k=0.130\text{cm}^2/\text{年}$)を基本とした。

図-4.1.1には、DAK 式壁高欄コンクリートの見掛けの拡散係数と経過年数の相関関係を示したが、参考として、接合モルタルを含めた見掛けの拡散係数と経過年数の相関関係を図-4.1.2に示す。

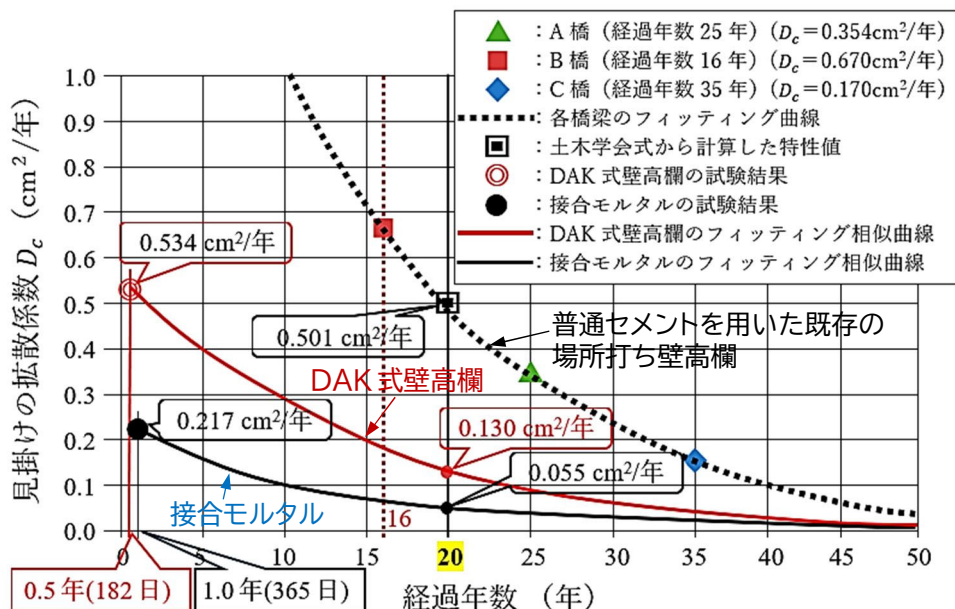


図-4.1.2 既存の普通コンクリートと DAK 式壁高欄コンクリート及び接合モルタルを含めた見掛けの拡散係数と経過年数の相関図

図-4.1.2 から分かるように、接合モルタル「リペアメント NS TYPE II」にも高炉スラグ微粉末を混合しており、DAK 式壁高欄コンクリートよりも高い耐久性を保持している。

4.2 耐久性の照査方法

4.2.1 概要

耐久性の照査は、**100年の耐久性**に対して、普通鉄筋を用いた場合とエポキシ樹脂塗装鉄筋（以下、エポ筋という）を用いた場合の壁高欄コンクリートについて、壁高欄表面からの塩化物イオンの侵入に伴って鉄筋表面の塩化物イオン濃度が鋼材腐食発生限界濃度に達しないことを照査するものとする。

本照査で対象とした壁高欄コンクリートの種類は、**DAK 式壁高欄**を含め以下の5種類とした。

- ① DAK 式壁高欄コンクリート
- ② 普通セメントを用いた場所打ち壁高欄コンクリート
- ③ 高炉セメント B 種相当(以下、高炉 B 種という)を用いた場所打ち壁高欄コンクリート
- ④ 普通セメントを用いた PCa 壁高欄コンクリート
- ⑤ 早強ポルトランドセメント(以下、早強セメントという)を用いた PCa 壁高欄コンクリート

4.2.2 塩化物イオンの侵入に伴う鋼材腐食に対する照査方法

標準示方書¹⁵⁾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-4.2.1による。

$$\gamma_i \frac{C_d}{C_{lim}} \leq 1.0 \quad \dots \dots \dots \text{式-4.2.1}$$

ここに、 γ_i ：構造物係数で、土木学会では、一般に1.0～1.1としてよいとしている。

本耐久設計では、既往の報告に準じ、 $\gamma_i = 1.1$ とする¹⁶⁾。

C_d ：鋼材位置における塩化物イオン濃度の設計値 (kg/m³)

C_{lim} ：耐久設計で設定する鋼材腐食発生限界濃度 (kg/m³)

式-4.2.1を書き換えると、式-4.2.2の通りとなる。

$$C_d \leq C_{lim} / \gamma_i \quad \dots \dots \dots \text{式-4.2.2}$$

この式-4.2.2の関係を用いて耐久性の照査を行う。

4.2.3 耐久性照査で設定する鋼材腐食発生限界濃度

耐久性照査で設定する鋼材腐食発生限界濃度は、標準示方書に準じ、各使用セメントに応じ、以下の青枠内の式で計算する。

(普通ポルトランドセメントを用いた場合)	
$C_{lim} = -3.0(W/C) + 3.4$	(3.1.8)
(高炉セメント B 種相当，フライアッシュセメント B 種相当を用いた場合)	
$C_{lim} = -2.6(W/C) + 3.1$	(3.1.9)
(低熱ポルトランドセメント，早強ポルトランドセメントを用いた場合)	
$C_{lim} = -2.2(W/C) + 2.6$	(3.1.10)
(シリカフェームを用いた場合)	
$C_{lim} = 1.20$	(3.1.11)

ここで、DAK 式壁高欄コンクリートについては、塩分浸透性状は高炉 B 種と評価できると報告されており、枠内の式 (3.1.9) で計算する³⁾。

その他の各壁高欄コンクリートについては、枠内のセメントの種類に準じ計算する。**赤線アンダーライン**のセメントである。

式-4.2.2の関係から、上記で計算された鋼材腐食発生限界濃度 (C_{lim}) を用いて耐久性照査のための鋼材位置における塩化物イオン濃度の設計値 (C_d) は、表-4.2.1の通りとなる¹⁸⁾。

なお、水セメント比について、PCa 壁高欄コンクリートは、DAK 式壁高欄コンクリートと同様 40%とし³⁾、場所打ち壁高欄コンクリートについては、既往の報告に準じ 50%とした¹⁶⁾。

表-4.2.1 耐久性照査のための鋼材位置における塩化物イオン濃度の設計値

使用セメント別の壁高欄の種類	水セメント比 W/C (%)	耐久性照査で設定する鋼材腐食発生限界濃度 C_{lim} (kg/m ³)	構造物係数 γ_i	鋼材位置における塩化物イオン濃度の設計値 C_d (kg/m ³)
DAK 式	40	(3.1.9) 2.060	1.1	1.873
普通セメント・場所打ち	50	(3.1.8) 1.900	1.1	1.727
高炉 B 種・場所打ち	50	(3.1.9) 1.800	1.1	1.636
普通セメント・PCa	40	(3.1.8) 2.200	1.1	2.000
早強セメント・PCa	40	(3.1.10) 1.720	1.1	1.564

(注) 表中の () 内数値は、前述青枠内の計算式を示す。

4.2.4 鋼材位置における塩化物イオン濃度の設計値

(1) 普通鉄筋を用いた場合

普通鉄筋を用いた場合の鋼材位置における塩化物イオン濃度の設計値は、標準示方書に準じ式-4.2.3 による^{15)、16)}。

$$C_d = \gamma_{cl} \cdot C_0 \left(1 - \operatorname{erf} \left(\frac{0.1 \cdot C_d}{2\sqrt{D_a \cdot t}} \right) \right) + C_i \quad \dots \dots \dots \text{式-4.2.3}$$

ここに、 C_d ：鋼材位置における塩化物イオン濃度の設計値 (kg/m³)

γ_{cl} ：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。一般に 1.3 としよよい。本耐久設計では、既往の報告に準じ $\gamma_{cl}=1.3$ とする¹⁶⁾。

C_0 ：コンクリート表面における塩化物イオン濃度 (kg/m³)

C_a ：耐久性に関する照査に用いるかぶりの設計値 (mm)。施工誤差を予め考慮して式-4.2.4 で求める。

$$C_a = C - \Delta C_e \quad \dots \dots \dots \text{式-4.2.4}$$

C ：かぶり

ΔC_e ：施工誤差

D_a ：塩化物イオンに対する設計拡散係数 (cm²/年)

t ：塩化物イオンの侵入に対する耐用年数 (年) $t=100$ (年)と設定する。

C_i ：初期塩化物イオン濃度 (kg/m³) ここでは、既往の報告に準じ $C_i=0.30\text{kg/m}^3$ ¹⁵⁾、¹⁶⁾。

(2) エポ筋を用いた場合

エポ筋を用いた場合の鋼材位置における塩化物イオン濃度の設計値は、式-4.2.5 による^{16)、17)}。

$$C_d = \gamma_{cl} \cdot C_0 \left(1 - \operatorname{erf} \left(\frac{0.1}{2\sqrt{t}} \left(\frac{C_d}{\sqrt{D_d}} + \frac{C_{ep}}{\sqrt{D_{epd}}} \right) \right) \right) + C_i \quad \dots \dots \dots \text{式-4.2.5}$$

ここに、 C_d : 鋼材位置における塩化物イオン濃度の設計値 (kg/m³)
 γ_{cl} : 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。一般に 1.3 としてよい。本設計では、既往の報告に準じ $\gamma_{cl}=1.3$ とする¹⁶⁾。
 C_0 : コンクリート表面における塩化物イオン濃度 (kg/m³)
 c_d : 耐久性に関する照査に用いるかぶりの設計値 (mm)。施工誤差を予め考慮し
 $C_d = C - \Delta C_e$ (普通鉄筋での検討と同様)
 C : かぶり
 ΔC_e : 施工誤差
 D_d : 塩化物イオンに対する設計拡散係数 (cm²/年)
 t : 塩化物イオンの侵入に対する耐用年数 (年) 対年数は、 $t = 100$ (年)とする。
 C_{ep} : エポキシ樹脂塗装の厚さの期待値(mm)。220 μ m = 220 \times (1/1000) mm = 0.22mm としてよい^{16)、17)}。
 D_{epd} : エポキシ樹脂塗装内への塩化物イオンの侵入を拡散現状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)
 2.0×10^{-6} cm²/年としてよい^{16)、17)}。
 C_i : 初期塩化物イオン濃度 (kg/m³) ここでは、既往の報告に準じ $C_i = 0.30$ kg/m³¹⁶⁾。

4.2.5 塩化物イオンに対する設計拡散係数

壁高欄は、荷重としては自重だけであるため、荷重による鉄筋応力度の増加量は 0 とみなすことができる。そのため、ひび割れは生じない。また、衝突荷重作用時として、壁高欄に設計衝突荷重が作用した場合においても、DAK 式壁高欄の衝突試験の結果から、ひび割れが生じること無く、弾性体としての挙動となっている。

そこで、塩化物イオンに対する設計拡散係数は、標準示方書に準ずれば、初期ひび割れ間隔を求めることが困難な場合で、ひび割れ幅が鋼材腐食に対するひび割れ幅の限界値 0.005c (c はかぶり) 以下であれば、塩化物イオンに対する設計拡散係数 (cm²/年) D_d は、式-4.2.6 で計算してよいとなっている^{15)、16)}。

DAK 式壁高欄及び各セメントを用いたその他の壁高欄も、上記の内容に合致すると考えられること、また、既往の報告でも式-4.2.6 が用いられていることから、塩化物イオンに対する設計拡散係数 D_d (cm²/年) は、式-4.2.6 で計算することとした^{15)、16)、18)}。

$$D_d = D_k \cdot \gamma_c \cdot \beta_{cl} \quad \dots \dots \dots \text{式-4.2.6}$$

ここに、 D_k : コンクリートの塩化物イオンに対する拡散係数の特性値 (cm²/年)
 γ_c : コンクリートの材料係数。一般に 1.0 としてよい。但し、上面の部位に関しては 1.3 とするのがよい。
 β_{cl} : 初期ひび割れの影響を考慮した係数で、1.5 としてよい^{15)、16)}。

ここで、コンクリートの塩化物イオンに対する拡散係数の特性値 (D_k) は、標準示方書に準ずると以下の赤枠内の式で計算してよいとなっている¹⁵⁾。

(a) <u>普通ポルトランドセメント</u> を使用する場合	$\log_{10}D_k = 3.0(W/C) - 1.8 \quad (0.30 \leq W/C \leq 0.55)$	(解 3.1.7)
(b) 低熱ポルトランドセメントを使用する場合	$\log_{10}D_k = 3.5(W/C) - 1.8 \quad (0.30 \leq W/C \leq 0.55)$	(解 3.1.8)
(c) <u>高炉セメント B 種相当</u> , シリカフェームを使用する場合	$\log_{10}D_k = 3.2(W/C) - 2.4 \quad (0.30 \leq W/C \leq 0.55)$	(解 3.1.9)
(d) フライアッシュセメント B 種相当を使用する場合	$\log_{10}D_k = 3.0(W/C) - 1.9 \quad (0.30 \leq W/C \leq 0.55)$	(解 3.1.10)

ここで、DAK 式壁高欄コンクリートは、前述の通り高炉 B 種と扱い、普通セメント及び早強セメントを用いた場合は、(解 3.1.7) で、高炉 B 種を用いた場合は、(解 3.1.9) でそれぞれ計算する。赤線アンダーラインのセメントである。

コンクリートの材料係数 γ_c については、DAK 式壁高欄は、JIS 工場で製作される高品質な PCa コンクリート部材であること、また、ブリーディングの影響や品質のバラツキが極めて小さいことから、コンクリートの材料係数は、 $\gamma_c = 1.0$ とする¹⁸⁾。

また、初期ひび割れの影響を考慮した係数 (β_{cl}) について、DAK 式壁高欄は、PCa コンクリートであることから、初期ひび割れの影響は無いと考えられるため、 $\beta_{cl} = 1.0$ とした¹⁸⁾。但し、場所打ち壁高欄については、初期ひび割れの影響を考慮し、既往の報告に準じ $\beta_{cl} = 1.5$ とした¹⁶⁾。

各壁高欄コンクリートにおける耐久性照査用の塩化物イオンに対する設計拡散係数 D_d (cm²/年) を整理すると表-4.2.2 の通りとなる¹⁸⁾。

表-4.2.2 セメントの種類による耐久性照査用の塩化物イオンに対する設計拡散係数

使用セメント別の壁高欄の種類	水セメント比 W/C(%)	コンクリートの塩化物イオンに対する拡散係数の特性値 D_k (cm ² /年)	コンクリートの材料係数 γ_c	初期ひび割れの影響を考慮した係数 β_{cl}	耐久性照査用の塩化物イオンに対する設計拡散係数 D_d (cm ² /年)
DAK 式	40	0.130	1.0	1.0	0.130
普通セメント・場所打ち	50	(解 3.1.7) 0.501	1.0	1.5	0.752
高炉 B 種・場所打ち	50	(解 3.1.9) 0.158	1.0	1.5	0.237
普通セメント・PCa	40	(解 3.1.7) 0.251	1.0	1.0	0.251
早強セメント・PCa	40	(解 3.1.7) 0.251	1.0	1.0	0.251

(注) ・DAK 式壁高欄コンクリートの D_k は、前述の「4.1 耐久性照査の考え方」に記述済み。

・表中の () 内数値は、前述の赤枠内の (解) の計算式を示す。

4.2.6 耐久性照査に用いるかぶりの設計値

耐久性の照査に用いるかぶりの設計値 C_d (mm) は、式-4.2.7 で計算できる。

$$C_d = C - \Delta C_e \quad \dots \dots \dots \quad \text{式-4.2.7}$$

ここに、 C ：かぶり（標準かぶりを70mmとし、60mm及び50mmの3ケース）

ΔC_e ：施工誤差

ここで、施工誤差（ ΔC_e ）について、標準示方書では、「一般に、柱及び橋脚で15mm、はりで10mm、スラブで5mmとしてよい。」となっているが、DAK式壁高欄の施工誤差の考えとしては、DAK式壁高欄は、JIS工場にて、鋼製型枠に鉄筋ユニットを配置し、適切な個数のスペーサーを配置して製作されるため、「かぶりの施工誤差 ΔC_e 」は5mmと設定し、他のセメントを用いたPCa壁高欄コンクリートも同様とした^{4)、5)、13)、19)}。また、場所打ち壁高欄については、既往の報告に準じ、10mmとした¹⁶⁾。

ここで、耐久性照査の対象とするコンクリートかぶりは、今回、耐久性比較の主眼とした標準かぶり70mmを基本とし、DAK式壁高欄コンクリート及び各種セメントを用いた場所打ち壁高欄コンクリートにおいては、標準かぶり70mmと60mm及び50mmの3ケースを考慮し、DAK式壁高欄コンクリート以外の各種セメントを用いたPCa壁高欄コンクリートについては、比較として標準かぶり70mmの1ケースとした。

従って、耐久性照査に用いるかぶりの設計値は、表-4.2.3の通りとなる。

表-4.2.3 耐久性照査に用いるかぶりの設計値

使用セメント別の 壁高欄の種類	コンクリート かぶり C (mm)	施工誤差 ΔC_e (mm)	耐久性照査に用い るかぶりの設計値 C_d (mm)
DAK式	70, 60, 50	5	65, 55, 45
普通セメント・場所打ち	70, 60, 50	10	60, 50, 40
高炉B種・場所打ち	70, 60, 50	10	60, 50, 40
普通セメント・PCa	70	5	65
早強セメント・PCa	70	5	65

4.3 塩害に対する100年の耐久性照査結果

4.3.1 普通鉄筋を用いた各壁高欄コンクリートの耐久性照査結果

これまでの照査条件を用いて、式-4.2.2及び式-4.2.3より、各壁高欄コンクリートの100年の耐久性照査結果を示すと、図-4.3.1の通りとなる¹⁸⁾。

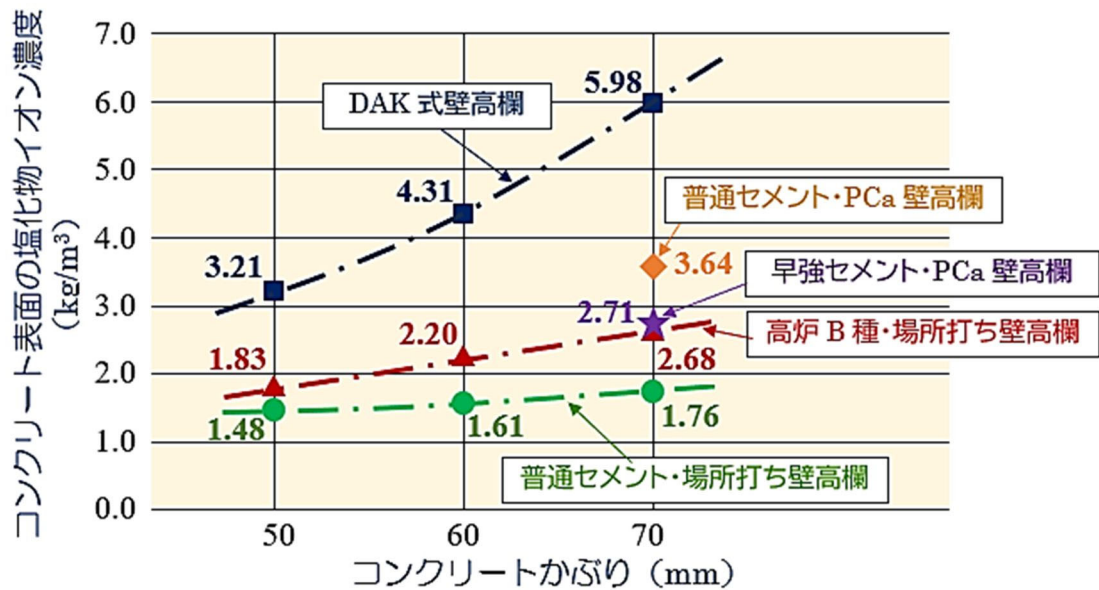


図-4.3.1 普通鉄筋を用いた各壁高欄コンクリートの100年の耐久性照査結果の比較

なお、ここでPCa壁高欄コンクリートにおいて、早強セメントを用いた場合の方が普通セメントを用いた場合より、コンクリート表面の塩化物イオン濃度が低くなっている。これは、早強セメントは、初期強度を出すためセメントの水和が早く進む。そのため、硬化体組織が比較的ポーラスとなり易く、塩化物イオンの浸透が早くなる傾向があるためと考えられている。

4.3.2 エポ筋を用いた各壁高欄コンクリートの耐久性照査結果

次に、エポ筋を用いた各壁高欄コンクリートの100年の耐久性照査結果は、これまでの照査条件を用い、式-4.2.2及び式-4.2.5より、図-4.3.2の通りとなる¹⁸⁾。

なお、ここでの耐久性照査結果は、DAK式壁高欄コンクリートを基本に、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高炉B種を用いた場所打ち壁高欄コンクリートとした。

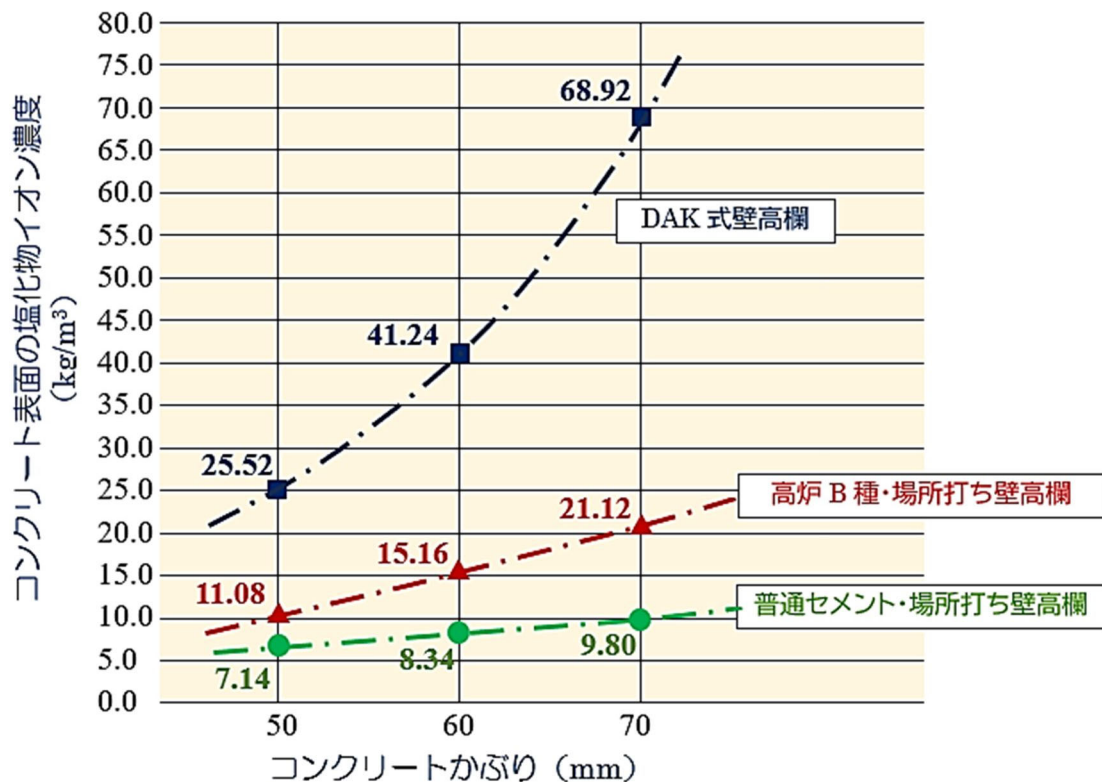


図-4.3.2 エポ筋を用いた各壁高欄コンクリートの 100 年の耐久性照査結果の比較

4.3.3 耐久性照査結果のまとめ

(1) 普通鉄筋を用いた場合

普通鉄筋を用いた場合の 100 年の耐久性照査結果は、以下の通りである。

- ① 図-4.3.1 より分かる通り、コンクリートの標準かぶり 70mm では、早強セメントに高炉スラグ微粉末を混合した DAK 式壁高欄コンクリートは、少なくとも 普通セメントを用いた場所打ち壁高欄コンクリートよりも **3 倍以上**、また、高炉 B 種を用いた場所打ち壁高欄コンクリートよりも **2 倍以上**の耐久性を有している。
- ② 図-4.3.1 より、DAK 式壁高欄コンクリートは、標準かぶり 70mm では、普通セメントを用いた PCa 壁高欄コンクリートよりも **1.5 倍以上**、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 **2 倍以上**の耐久性を有している。

(2) エポ筋を用いた場合

エポ筋を用いた場合の 100 年の耐久性照査結果は、以下の通りである。

- ① 図-4.3.1 及び図-4.3.2 より、DAK 式壁高欄コンクリートにおけるコンクリートの標準かぶり 70mm では、エポ筋でのコンクリートの表面塩化物イオン濃度の適用範囲は、5.98kg/m³~68.92kg/m³となり、極めて高い塩害環境までカバーできることになる。
- ② 図-4.3.1 及び図-4.3.2 より、普通セメントを用いた場所打ち壁高欄コンクリートにおけるコンクリートの標準かぶり 70mm では、エポ筋でのコンクリートの表面塩化物イオン濃度の適用範囲は、1.76kg/m³~9.80kg/m³と比較的低い範囲となり、コンクリートの表面塩化物イオン濃度が、9.80kg/m³を超える場合は、更に耐久性の高いステンレス鉄筋等の検討が必要となる。
- ③ 図-4.3.1 及び図-4.3.2 より、高炉 B 種を用いた場所打ち壁高欄コンクリートにおけるコンクリートの標準かぶり 70mm では、エポ筋でのコンクリートの表面塩化物イオン濃度の適用範囲は、2.68kg/m³~21.12kg/m³の範囲となり、比較的高い塩害環境までカバーできることになる。

特に、DAK 式壁高欄コンクリートには、標準として高炉スラグ微粉末を混合していることから、他の各壁高欄コンクリートに比較して高い耐久性が図れるばかりでなく、CO₂削減に寄与できることから、環境に優しい製品として日本政府が掲げている「2050 年カーボンニュートラル」の政策に合致している。

第5章 DAK 式壁高欄の衝突安全性

5.1 DAK 式壁高欄の衝突安全性の考え方

DAK 式壁高欄は、「第2章 DAK 式壁高欄の特長 2.1 構造的の特長」で述べたように、PCa 壁高欄工法の場合には、基本、床版と PCa 壁高欄との接合部と橋軸方向の PCa 壁高欄同士
の接合部が存在する。

これらの接合部については、前述した「第3章 DAK 式壁高欄の部材設計」で述べたように、衝突荷重に対し、静的荷重による構造設計によって安全性を照査しているが、壁高欄には、実際、交通荷重が衝突することに対し、上記の各接合部が安全であるかの照査も必要となる。

ここでは、実際の交通荷重の衝突による「衝突安全性」について説明する。

なお、この衝突安全性については、NEXCO の「NEXCO 試験方法 第4編 構造関係試験方法」¹⁹⁾ に準じ、また、別途、「DAK 式プレキャスト壁高欄の衝突安全性確認「報告書」²⁰⁾、²¹⁾ を纏めており、NEXCO 総合技術研究所・橋梁研究室に提出済みである。

5.2 DAK 式壁高欄の衝突安全性の照査方法

DAK 式壁高欄の衝突安全性に関する照査は、NEXCO が推奨する衝突安全性確認試験方法である「試験法 441」¹⁹⁾ に準じている。

5.2.1 「試験法 441」に準じた衝突試験方法

「試験法 441」に準じた衝突試験は、図-5.2.1 及び図-5.2.2 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。

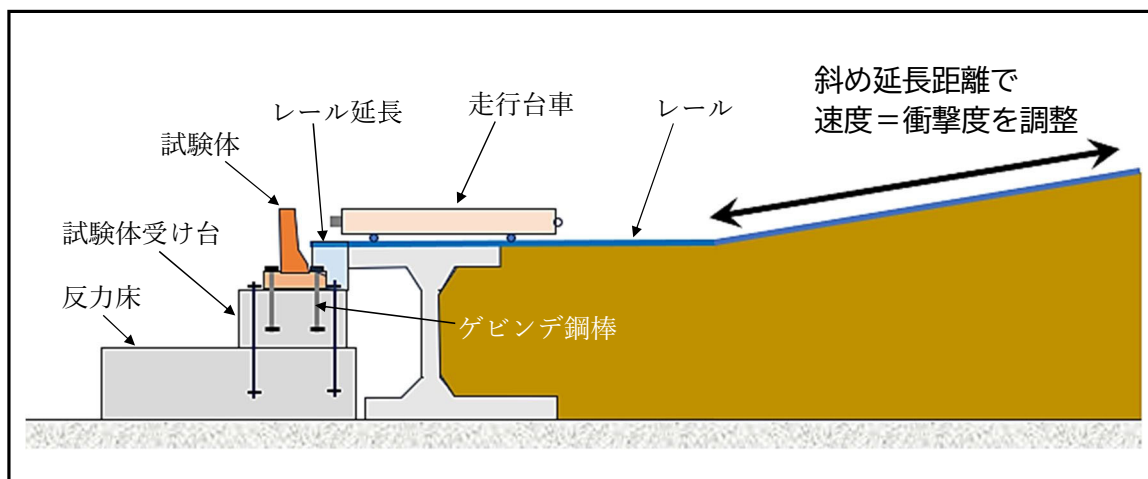


図-5.2.1 台車による衝突試験の概念図

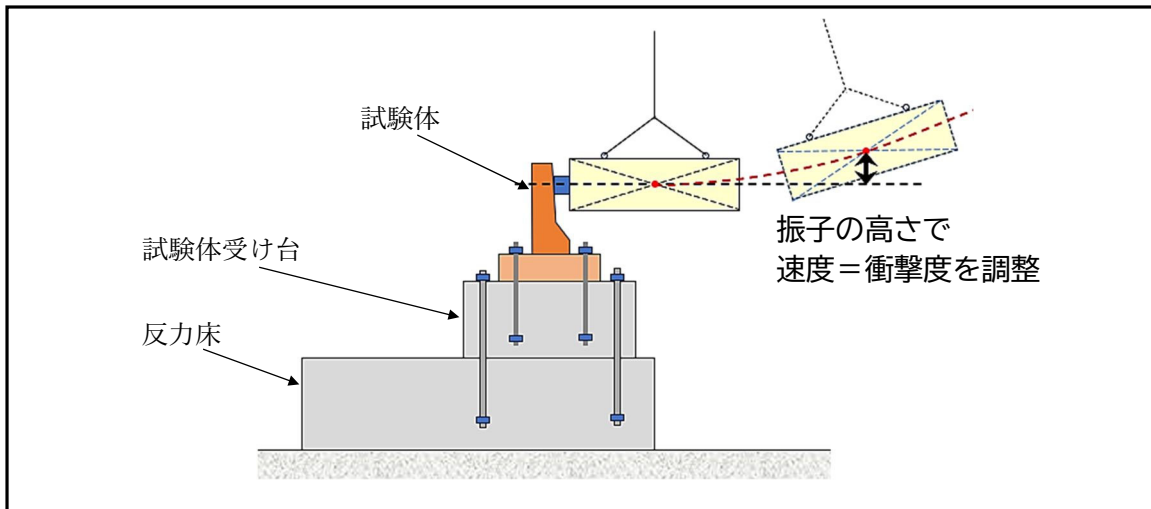


図-5.2.2 重錘による衝突試験の概念図

なお、DAK 式壁高欄の衝突安全性の確認方法は、図-5.2.2 に示す重錘による試験方法である。

次に、衝突条件は、表-5.2.1 に示す通り規定されている。

表-5.2.1 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	<ul style="list-style-type: none"> ・ 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設置する緩衝材の種別は、表-5.2.2 の通りである。

表-5.2.2 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

衝突させる衝突体の衝突中心位置は、壁高欄天端から下方に 300mm の位置で、壁高欄標準部の中央、橋軸方向接合部及び端部の 3 ヶ所に衝突させる方法となっている。従って、DAK 式壁高欄もこの方法で安全性の確認を行った。

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。

5.2.2 緩衝材の種類と寸法

DAK 式壁高欄の衝突安全性確認試験で用いた緩衝材は、表-5.2.2 に示したゴム硬度及びゴム厚さのもので、写真-5.2.1 に示す通りである。

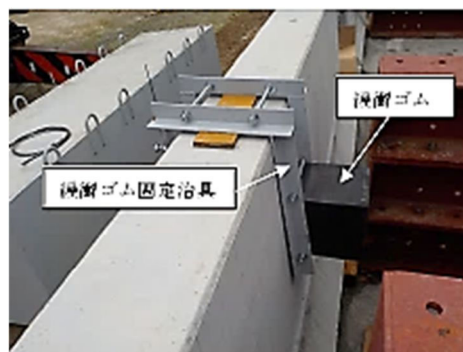


写真-5.2.1 緩衝材の配置状況

5.3 DAK 式壁高欄の衝突安全性照査

5.3.1 衝突試験の方法

DAK 式壁高欄での衝突試験は、図-5.2.2 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-5.2.1 に示した衝突条件に合わせ、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決定した。

図-5.3.1 に DAK 式壁高欄の重錘を用いた衝突試験概要図を示す。

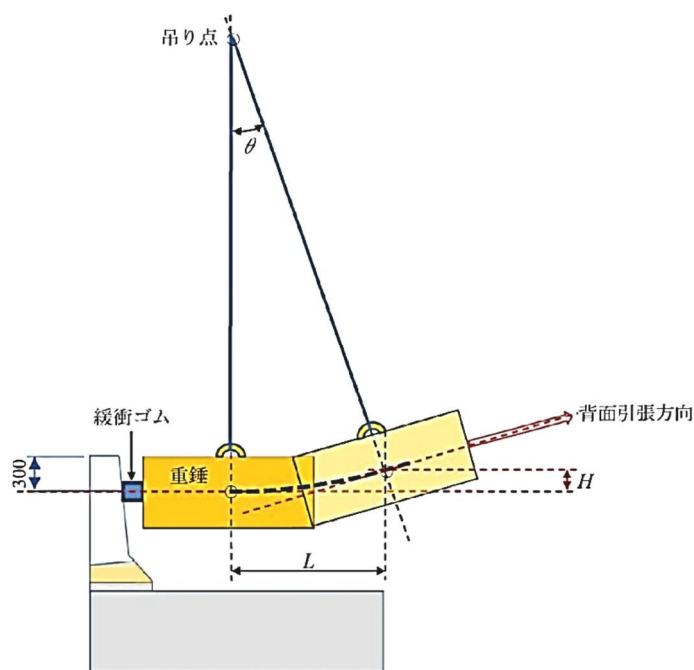


図-5.3.1 重錘を用いた衝突試験概要図

5.3.2 衝突荷重の衝突位置

衝突試験における衝突荷重の衝突位置は、図-5.3.2 に示すように、「試験法 441」に準拠すると、衝突荷重（200mm×200mm）の中心位置を壁高欄天端から下方に 300mm となっている。

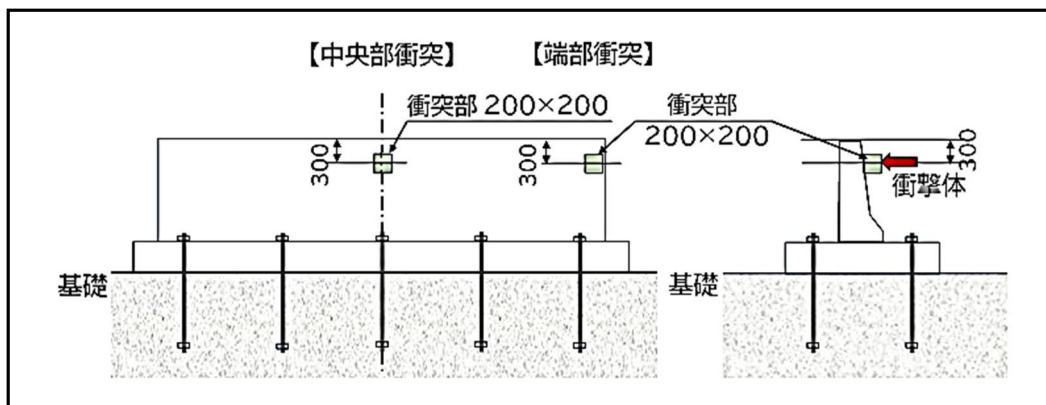


図-5.3.2 衝突荷重の衝突位置

そこで、DAK 式壁高欄の衝突試験では、図-5.3.3 に示す通り、壁高欄標準ブロック 4.0m の橋軸方向中央部、端部及び橋軸方向に標準ブロック 4.0m を 2 ブロック並べた接合部の 3 箇所とし、壁高欄天端から下方 300mm 位置に 200mm×200mm の緩衝ゴムの中心を合わせ、重錘を衝突させた。

衝突試験時の全景を写真-5.3.1 に示す。

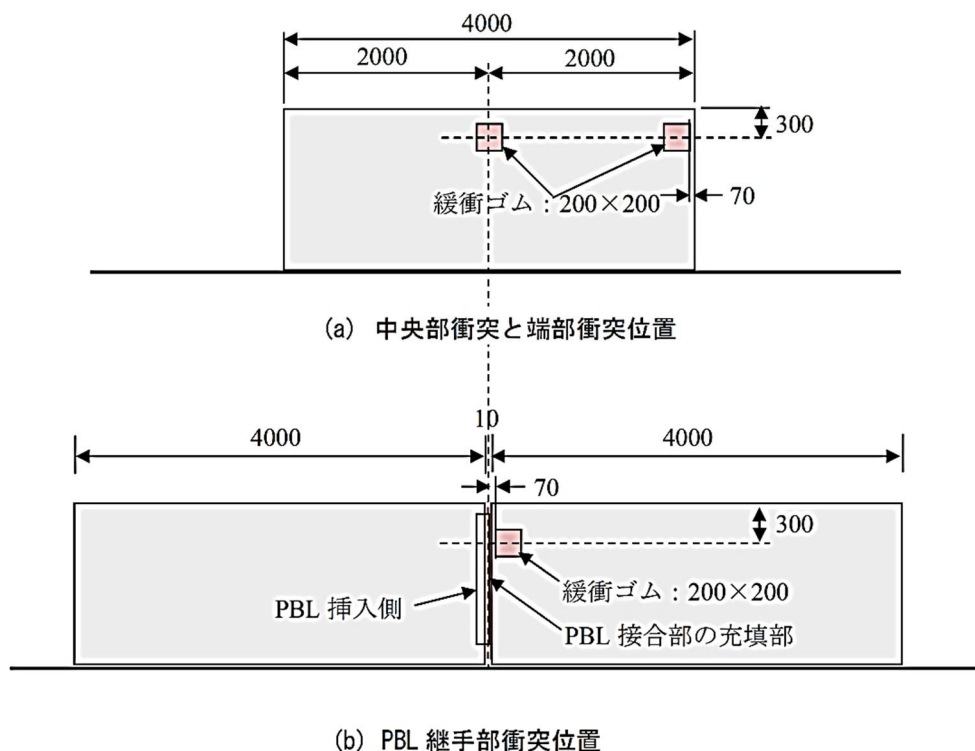


図-5.3.3 DAK 式壁高欄の衝突荷重の衝突位置

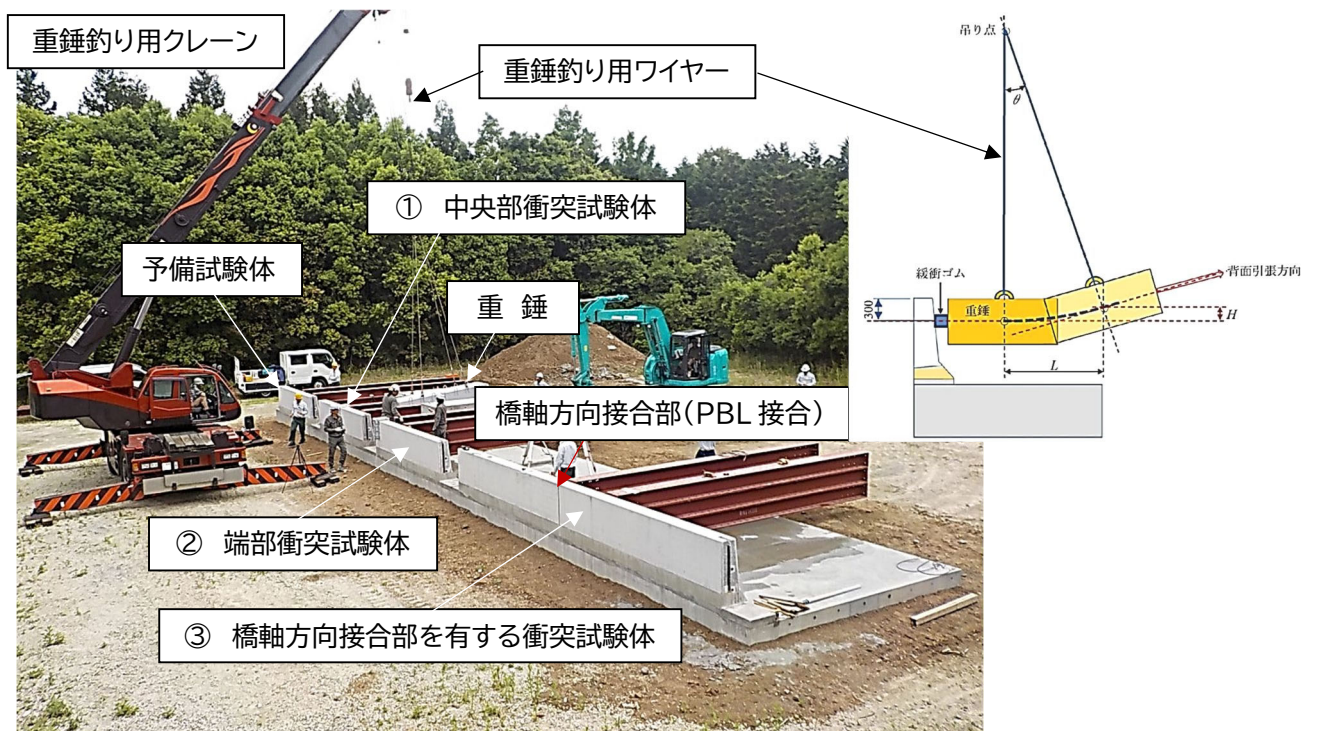


写真-5.3.1 DAK 式壁高欄の衝突試験時の全景

5.3.3 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 15 μ 程度であり、端部試験体では、30 μ 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（場所打ち壁高欄と同等な挙動）を満足し、DAK 式壁高欄の衝突安全性が確認されている。

5.3.4 衝突解析結果

衝突試験の他に、図-5.3.4に示すように、ループ鉄筋継手及びPBL 接合構造を詳細にモデル化した3次元FEM解析モデルによる衝突解析も実施しており、その結果は、表-5.3.1に示す内容である。

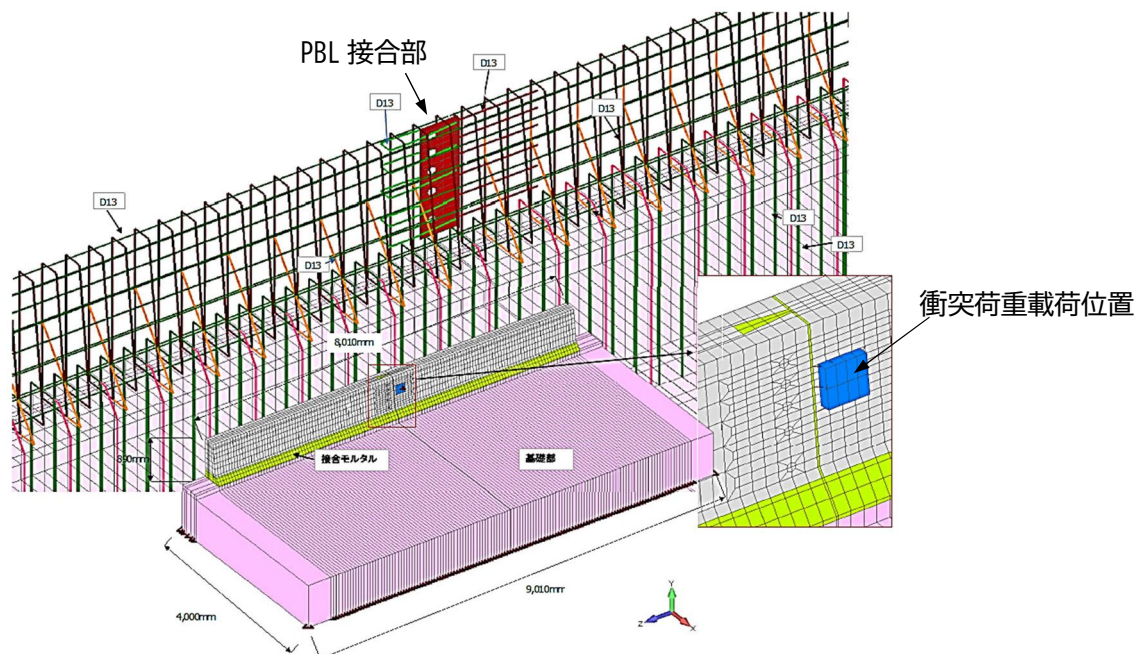


図-5.3.4 DAK 式壁高欄の衝突解析に用いた3次元FEM解析モデル図

表-5.3.1 3次元FEM解析モデルによる衝突解析結果抽出内容

衝突前エネルギーの分類	鉄筋ひずみ	鉄筋応力度	表面応力度	応力コンター (ひび割れ推定 用応力線図)	変位 (面外)
2.8 kJ 時	○ ¹⁾	○ ¹⁾	○ ¹⁾	—	○ ¹⁾
28 kJ 時	—	—	—	○ ²⁾	—

注) 1) 2.8kJ 時 (衝突設計荷重時) でのひび割れの有無と面外変形の確認のため

2) 28kJ 時では、ひび割れが発生すると考えられることから、ひび割れパターンの確認のため

ここでは、解析結果の抜粋として、主に、「試験法 441」の衝突試験性能証明書に記載した鉄筋の最大ひずみ発生位置と発生ひずみを中心に纏めている。

結果として、FEM 解析によっても衝突安全性が確認され、また、28kJ 時での試験時のひび割れパターンも、FEM 解析によって、実際のひび割れパターンの確認ができています。

なお、表-5.3.1 に示す解析内容と解析結果及び安全性の評価については、「DAK 式プレキャスト壁高欄の衝突安全性確認「報告書」」^{20)、21)}として、NEXCO 総合技術研究所・橋梁研究室に提出済みである。

第6章 DAK 式壁高欄の製作

6.1 製作フロー

DAK 式壁高欄の PCa 壁高欄部材は、後述の「6.8 コンクリートの品質と配合」に示す安定した品質を確保できる工場（例：JIS 工場等）で製作することを基本とする。

その基本的な製作フローは、概ね、図-6.1.1 の通りである。

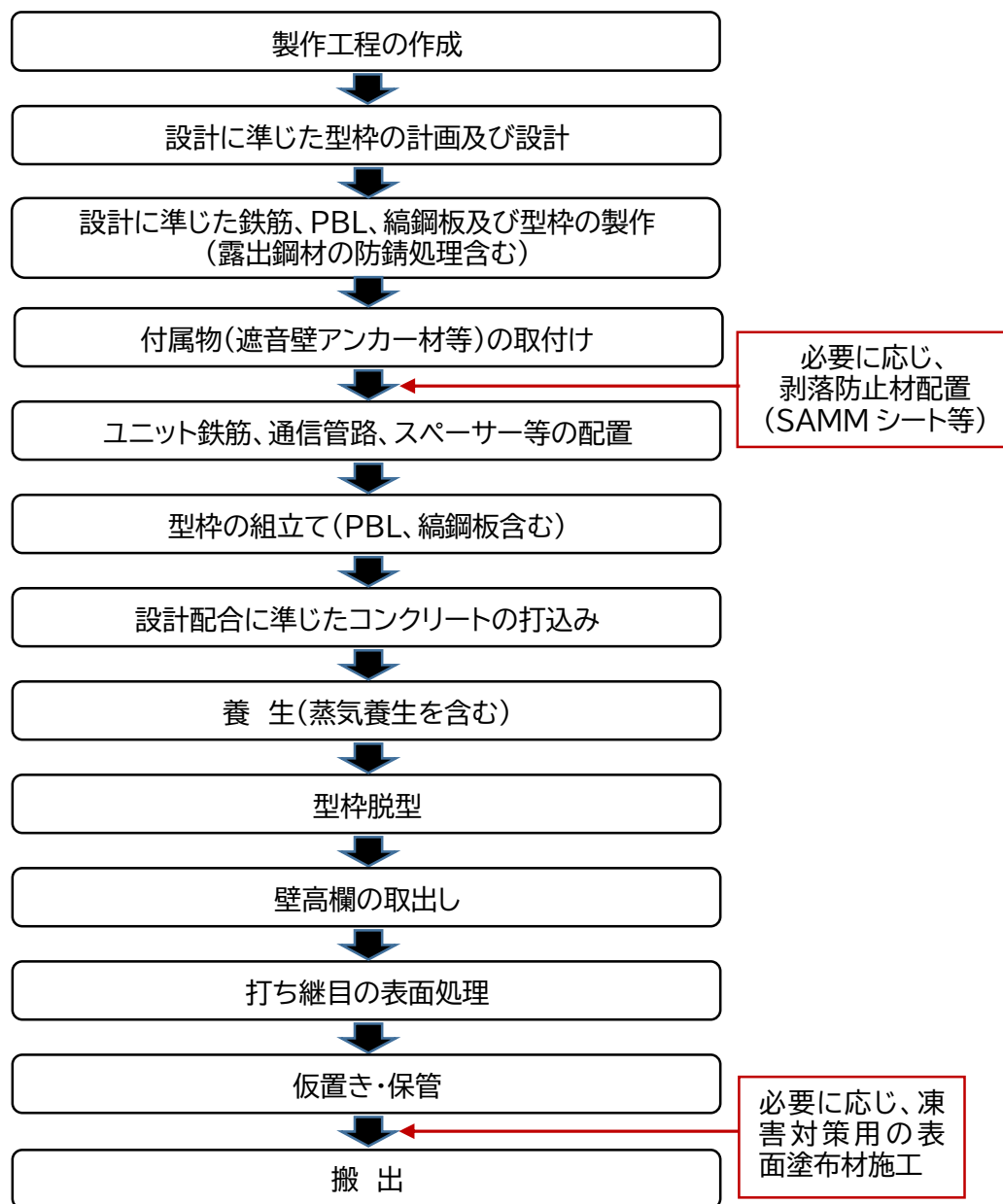


図-6.1.1 DAK 式壁高欄の PCa 壁高欄部材の基本的な製作フロー

以下、図-6.1.1 の製作フローに沿い、各項目を図、表、写真を用い、詳しく内容を説明する。

6.2 型枠の製作

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。

DAK 式壁高欄の標準構造は、前面袴を有する PCa 壁高欄構造としているため、鋼製型枠の計画、設計及び製作に関しては、以下の項目に注意する必要がある。

- ① PCa 壁高欄部には、床版との接合用にループ鉄筋継手が用いられるため、コンクリートの打込みは、一般的に、ループ鉄筋部を上側にした逆打ちとなる(写真-6.2.1 及び写真-6.2.2 参照)。
- ② 鋼製型枠は、ユニット鉄筋の配置、スパーサーの配置等、施工性のよい型枠構造(分離可能等)が望ましい(写真-6.2.1 の例参照)。
- ③ 鋼製型枠は、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、剛性を有する型枠構造が望ましい。
- ④ 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。

鋼製型枠を用いた鉄筋の組立状況の例を写真-6.2.1 に、また、鋼製型枠を用いたコンクリート打込み(逆打ち)時の状況例を写真-6.2.2 のそれぞれ示す。



写真-6.2.1 鉄筋配置時の型枠例



写真-6.2.2 コンクリート打込み時の型枠例

6.3 鉄筋と型枠の組立て

6.3.1 ユニット鉄筋の組立て

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ユニット鉄筋の組立て状況例を写真-6.3.1 に、ユニット鉄筋のストック状況例を写真-6.3.2 にそれぞれ示す。



写真-6.3.1 鉄筋の組立て状況例



写真-6.3.2 ユニット鉄筋のストック状況例

6.3.2 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】7 検査 7-3 出来形基準」²²⁾ に示されている鉄筋組立時の許容値を表-6.3.1 に示す。

表-6.3.1 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

6.3.3 付属物の取付け

遮音壁アンカー等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。遮音壁アンカーの設置例を写真-6.3.3 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。

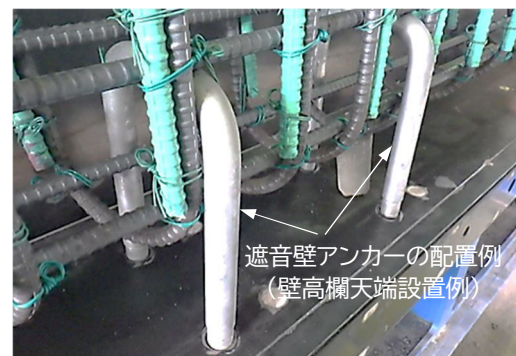


写真-6.3.3 遮音壁アンカーの設置例

6.3.4 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、事前に組み立てたユニット鉄筋を所定の位置にセットし、PBL 鋼板、縞鋼板あるいは遮音壁アンカーなどを取り付け、必要に応じて、通信管路を配置する。その際、所定のかぶりを確保できるよう、モルタル製スパーサーを側面 1m² 当り 2 個以上、底面 1m² 当り 4 個以上設置することが望ましい。その後、反対側の側型枠を組み立てる。

鉄筋配置を含めた型枠の組立て状況例は、前出の**写真-6.2.1** 参照。

特に、ストック時、搬出時、搬入時、仮置き時、建て込み時等吊り用インサートアンカーについては、各状況に応じ、前面袴を有する平置きの場合と、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用インサートアンカーの種類を選択し、配置位置等入念に計画して配置する必要がある。

6.4 剥落防止工

橋梁高架部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 シートを設置するケースが多いため、ここでは、その一例として、**写真-6.4.1** のように外側鋼製型枠に SAMM シートを設置した例を示す。

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、施工性を考慮し、剥落防止機能を損なわない適切な配置の検討が必要である。

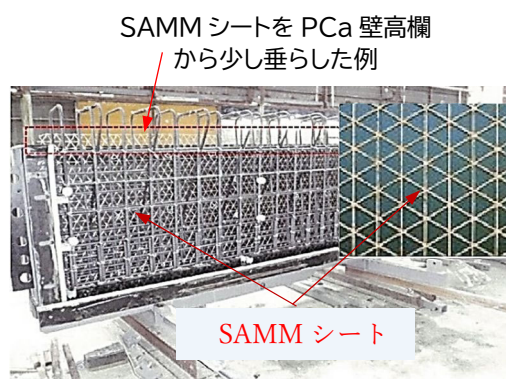


写真-6.4.1 SAMM シートの配置例

6.5 通信管路の配置

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。

DAK 式壁高欄では、「第3章 DAK 式壁高欄の部材設計 3.7 構造細目 3.7.10 通信管路の構造と配置」で述べたように、壁高欄同士の通信管路の接合には、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-6.5.1** 及び**写真-6.5.2** にそれぞれ示す。

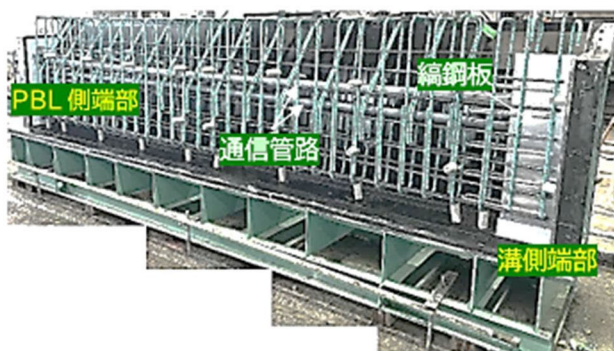


写真-6.5.1 バネ式通信管路2条配置例

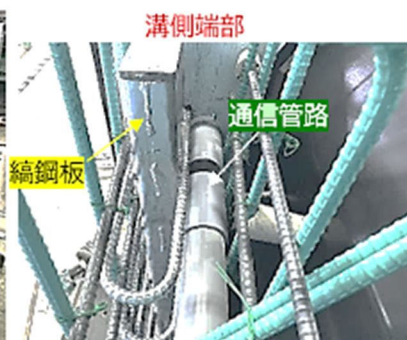


写真-6.5.2 バネ式通信管路端部配置例

バネ式通信管路の配置に際しては、コンクリート打込み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、コンクリート打込み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、接合部の両端部の管路出口の配置がずれないように、十分注意しなければならない。

ここに、PCa ブロック内に配置されるバネ式通信管路の配置例を図-6.5.1 に、また、通信管路を構成する各パーツの写真を写真-6.5.3 にそれぞれ示す。

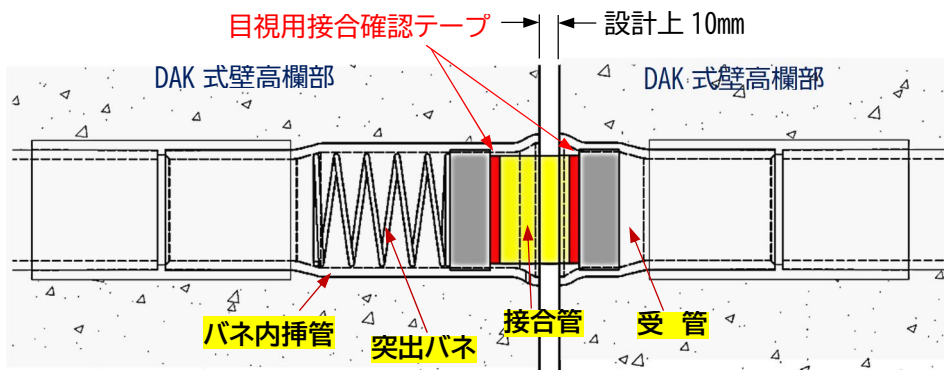


図-6.5.1 バネ式通信管路の接合後の配置例



写真-6.5.3 バネ式通信管路の各部材の写真

6.6 隅角部の面取り

PCa 壁高欄ブロックの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。

これは、PCa 部材としての角欠け等を防止する目的で、例えば、C10 の「C」は、「chamfering」(面取り)を意味しており、図-6.6.1 に示すように、角の先端から辺で 10mm の部分をカットする意味である。また、写真-6.6.1 に面取りした DAK 式壁高欄のブロックの例を示す。PCa 部材の場合、通常、部材の角は面取りされるが、DAK 式壁高欄の場合、標準構造が前面袴構造であり、型枠脱型時や施工時等、角欠けが生じないような面取りを行う必要がある。

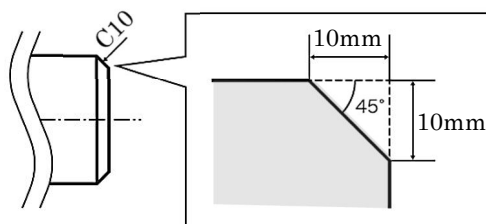


図-6.6.1 面取り例

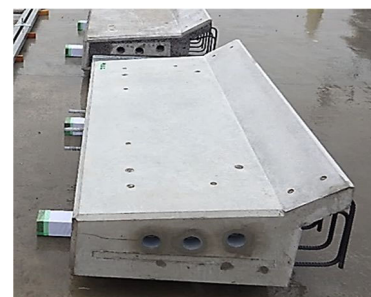


写真-6.6.1 面取りしたブロックの例

6.7 縞鋼板配置部におけるかぶりコンクリート部の形状

「第3章 DAK式壁高欄の部材設計 3.7.2 PCa壁高欄の形状 (2) 溝側壁高欄天端の溝の形状」で述べたように、溝側壁高欄のPBLを差し込む溝側壁高欄天端の形状については、**図-6.7.1**に示すように、背面側の形状を半円あるいはそれに近い形とすることを基本とする。

PCa壁高欄天端の切欠き部の形状は、応力集中を生ずるような鋭角部を有する形状ではなく、応力集中を分散させるようなスムージングカーブとすることを目的とする。なお、この場合の溝の形状は、充填ホースの直径を考慮し、少なくとも直径50mm程度の円形空間を確保する。**但し、縞鋼板の形状については、特に、規定するものではない。**

その形状例を**図-6.7.1**に示す。

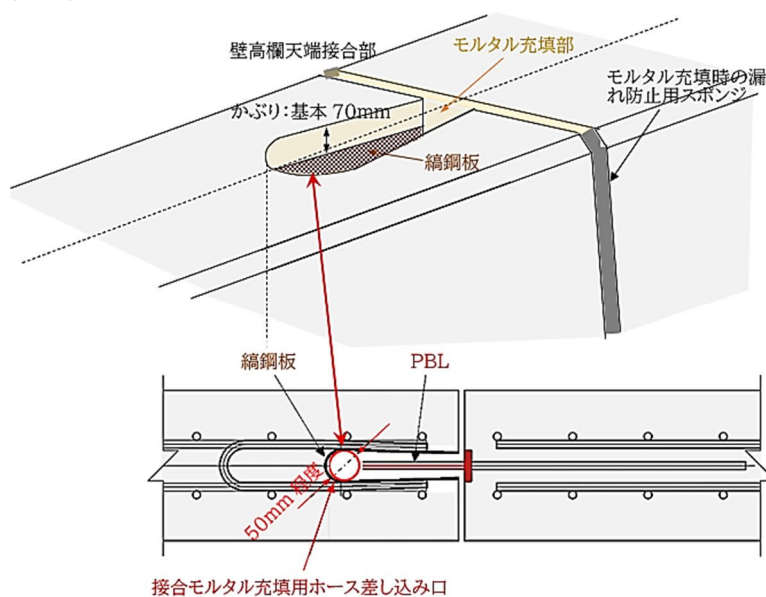


図-6.7.1 縞鋼板上方のコンクリートかぶり部の溝の形状例

6.8 コンクリートの品質と配合

6.8.1 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-6.8.1**に示す品質を有するものとしている。

表-6.8.1 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) 30%以上
スランプ	10~18cm (±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

6.8.2 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」に適合するものを使用する。なお、粗骨材の最大寸法は20mmを標準とする。

6.9 コンクリートの打込み及び養生

6.9.1 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が移動しないよう、また、材料分離が生じないように留意して行う。そのコンクリートの打込み状況例を写真-6.9.1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-6.9.1 コンクリート打込み状況

6.9.2 コンクリートの養生

コンクリートの打込み終了後は、十分な湿潤養生を行う。養生状況例を写真-6.9.2に示す。また、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°C以下の割合で温度を上げ、最高温度を65°C以下とする。



写真-6.9.2 蒸気養生状況例

6.10 製品の取出し及び接合面の処理

6.10.1 製品の取出し

製品の取出し状況例を写真-6.10.1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/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。



写真-6.10.1 製品の取出し状況例

6.10.2 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、写真-6.10.2に示すように、粗面仕上げとする。

この場合、型枠表面に凝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-6.10.2 小口面等の洗出し状況例

6.11 凍害に対する表面对策

DAK 式壁高欄を寒暖差の厳しい寒冷地で施工する場合、PCa 壁高欄の表面に凍害によるポップアウト現象（スケーリング）が生じることがある。

この場合、DAK 式壁高欄では、表面含浸材による塗布での対応を推奨している。

表面含浸材の施工については、別途、「アクアシール 1400H 工場施工要領書」²³⁾を纏めているが、施工の実施や施工範囲については、発注者と協議の上決定することが望ましい。

なお、表面含浸材の施工は、PCa 壁高欄製作工場で行うことを基本としている。

6.12 仮置き保管

6.12.1 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-6.12.1に示す。



写真-6.12.1 平置き保管状況例

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。

6.12.2 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 や縞鋼板、あるいは 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（PBL 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。PBL の亜鉛メッキ塗装の例を写真-6.12.2 に示す。



写真-6.12.2 PBL の亜鉛メッキ塗装例

6.13 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陥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】7 検査 7-3 出来形基準」²²⁾ に示されている許容値を表-6.13.1 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-6.13.1 寸法の許容値

項目		許容値
厚さ		±5mm
高さ		-10mm～+20mm

6.14 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に、吊り上げ方法を考慮した吊り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-6.14.1 には、袴を設けた PCa 壁高欄の平置き状態での搬出状況を示す。



写真-6.14.1 平置き搬出状況例

第7章 DAK 式壁高欄の施工

7.1 準備工

7.1.1 現地の確認

現場での建て込みに先立ち、施工延長や施工場所の状況を確認する。

写真-7.1.1 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状況であるが、DAK 式壁高欄工用に適しているかを調査する必要があり、施工上、必要に応じ、DAK 式壁高欄工に適した足場を検討する。



写真-7.1.1 壁高欄工着手前の状況例

7.1.2 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ことになるが、PCa 壁高欄の建て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ことが望ましい。

搬入荷姿の例としては、工場からの搬出状況例として「第6章 PCa 壁高欄の製作 6.12 運搬、搬出」の写真-6.12.1 に示したような荷姿で現場に搬入される。

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

7.2 PCa 壁高欄の荷下し、仮置き及び建て込み

7.2.1 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-7.2.1 に示す。



写真-7.2.1 現場到着後の荷下ろし状況の例

7.2.2 PCa 壁高欄の仮置き

現場に搬入された PCa 壁高欄は、建て込みまで、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に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-7.2.2 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-7.2.2 橋面上に仮置きされた状況例

7.2.3 PCa 壁高欄の建て込み

前面袴を有する PCa 壁高欄の建て込み状況の例を写真-7.2.3 に示す。PCa 壁高欄は、橋面の縦断勾配や横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、建て込んだ後の状況の例を写真-7.2.4 に示す。

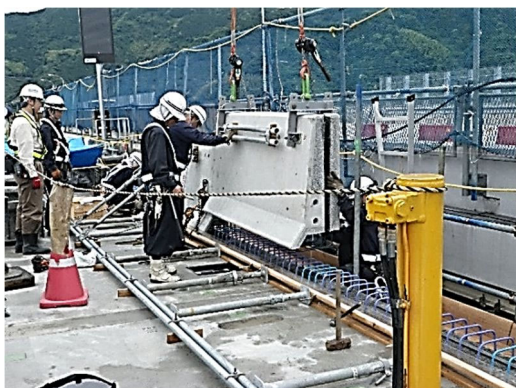


写真-7.2.3 建て込み時の状況例

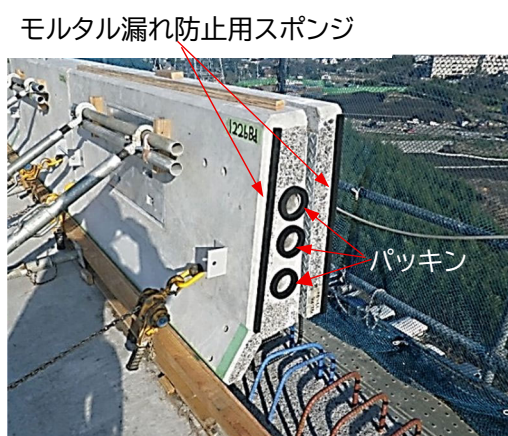
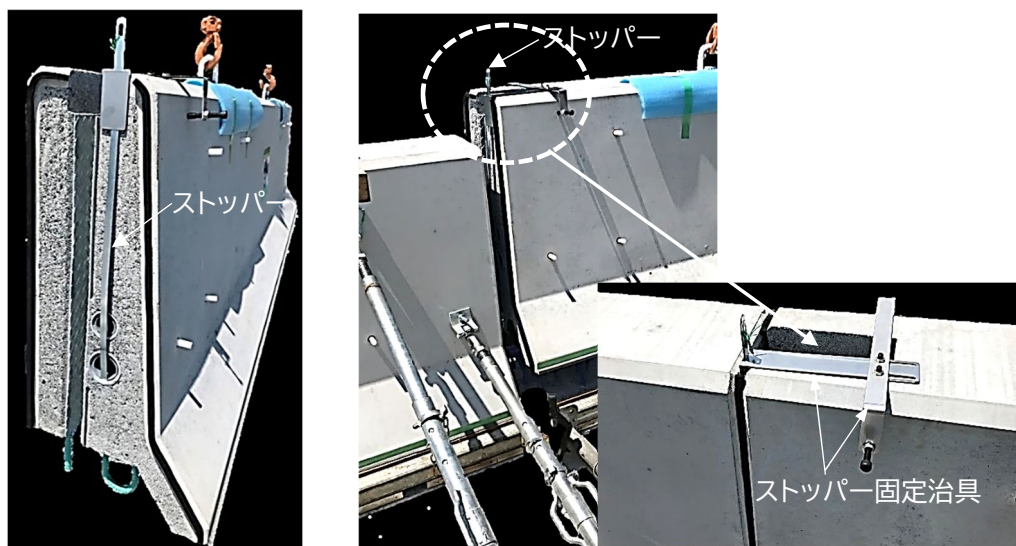


写真-7.2.4 建て込み後の状況例

写真-7.2.4 から分かるように、小口面にスポンジ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-7.2.4 は、PCa 壁高欄内に通信管路を配置した例で、その通信管路の出口にパッキンを用いた施工例である。

DAK 式壁高欄では、「第 3 章 DAK 式壁高欄の部材設計 3.7.10 通信管路の構造と配置」で示した通り、壁高欄接合部の通信管路同士の接合には、バネ式通信管路を標準としていることから、次に、建て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-7.2.5 (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-7.2.5 (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-7.2.5 (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) 建て込み状況例 (c) 施工完了例

写真-7.2.5 バネ式通信管路の配置状況例

建て込み後の高さ調整が終了した後、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左右のずれや壁高欄の橋軸方向の離れの許容誤差は、表-7.2.1の通りとしている。

表-7.2.1 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・左右のずれ	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-7.2.1の「上下・左右のずれ」に関しては、図-7.2.1(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、上下あるいは左右に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ことを確認している。しかしながら、施工をスムーズに行うためにも、この上下あるいは左右の施工誤差を極力小さくすることが望ましい。

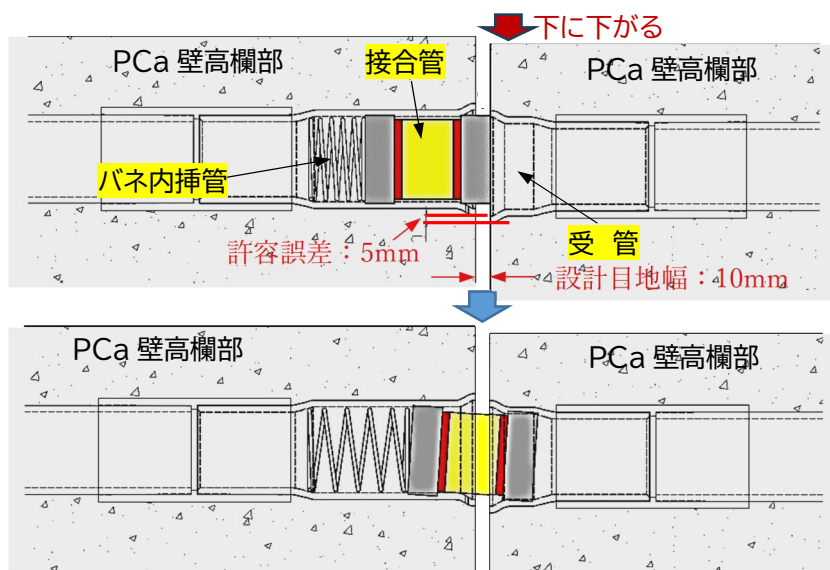


図-7.2.1 バネ式通信管路の接合管の上下の例の許容誤差

また、表-7.2.1の「左右の離れ」に関しては、図-7.2.2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ことが望ましい。

なお、図-7.2.1及び図-7.2.2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、目地幅の最大値20mmを超えた場合（図-7.2.2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ことが重要である。

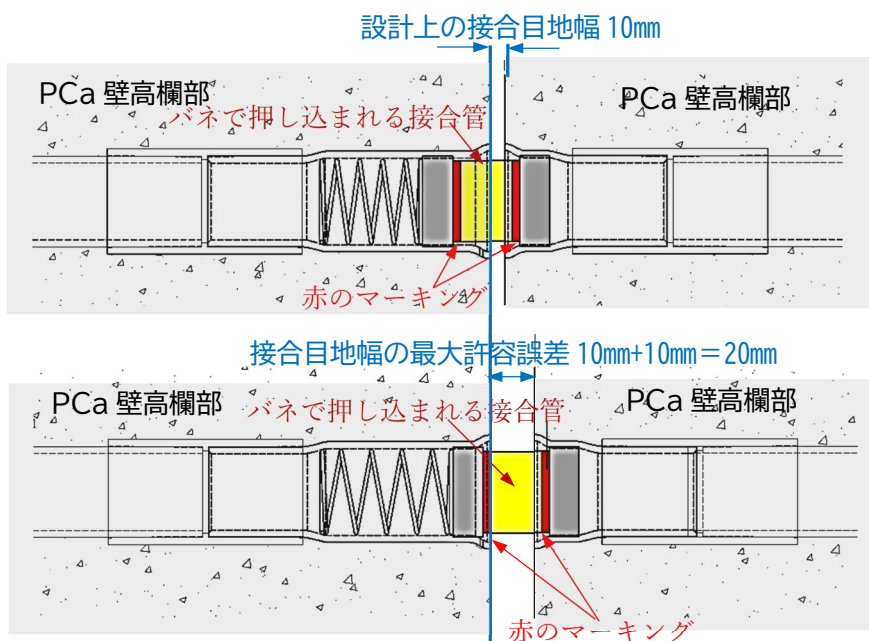


図-7.2.2 バネ式通信管路の接合管の左右の離れの許容誤差

7.2.4 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う方法や床版と PCa 壁高欄の間にジャッキを用いて行う方法があるが、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-7.2.6 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-7.2.7 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-7.2.6 床版側にねじ切りを設けた例



写真-7.2.7 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-7.2.8 に示す。また、PCa 壁高欄同士の接合目地部で幅員方向に凹・凸が出ないように、適切な治具等を用いて仮固定を行うことが重要である。

写真-7.2.9 は、壁高欄の前面を仮固定した状況例を示し、写真-7.2.10 は、壁高欄の背面を仮固定した状況例をそれぞれ示す。

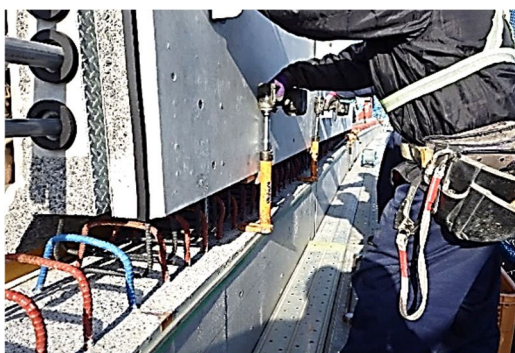


写真-7.2.8 ジャッキによる高さ調整の施工例



写真-7.2.9 前面の仮固定の施工例



写真-7.2.10 背面の仮固定の施工例

また、設置寸法の許容誤差は、表-7.2.2 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うことが重要である。

表-7.2.2 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

7.2.5 通信管路・接合部の施工

通信管路が配置された DAK 式壁高欄を建て込む際には、「7.2.3 PCa 壁高欄の建て込み」で説明したように、通信管路に配置される「接合管」がバネ内挿管内に押し込まれた状態で、ストッパーにより固定されている状態である。そして、DAK 式壁高欄が建て込まれて、高さ調整を行った後の状況例が写真-7.2.11 の状態である。但し、写真-7.2.11 は、ストッパーの配置施工の一例であり、実際の現場では、施工環境に応じてストッパーの配置等、詳細な検討が必要である。

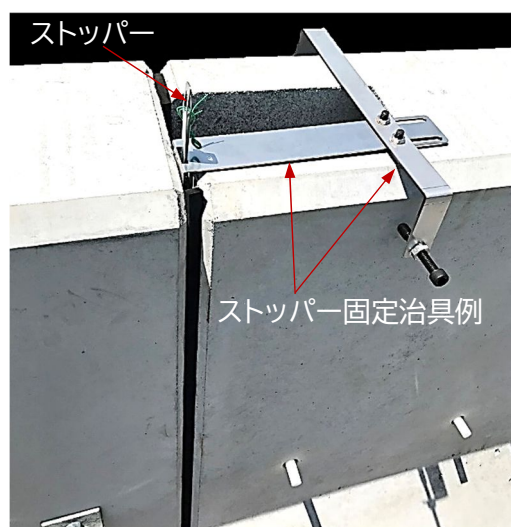


写真-7.2.11 ストッパーの固定例

DAK 式壁高欄建て込み後、ストッパーを抜いて、「接合管」をバネで押し込むことになる。その際、注意しなければならないのが、「接合管」が図-7.2.3 のように、所定の位置にしっかり押し込まれているかである。それを確認するのが、「接合管」に貼られた黄色のテープである。それが写真-7.2.12 の状態である。

接合管がきちんと押し込まれていない場合は、図-7.2.3 に示すような赤いテープが見えることになるため、十分注視して接合管の押し込み状況を確認することが重要である。

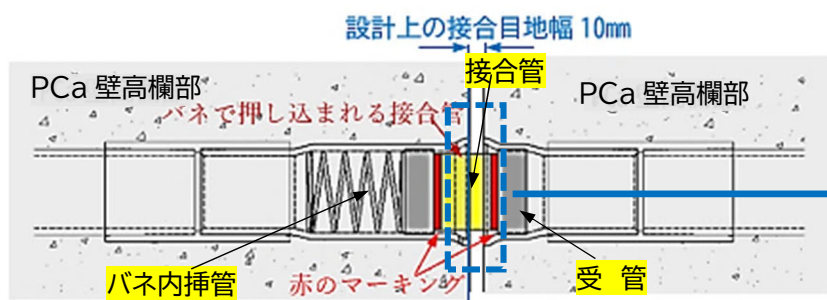


図-7.2.3 通信管路の配置状態



写真-7.2.12 正しい接合管の配置状況

7.2.6 ループ鉄筋内橋軸方向鉄筋及び補強鉄筋の配置

(1) ループ鉄筋内橋軸方向鉄筋の配置

DAK 式壁高欄では、「第 2 章 DAK 式壁高欄の特長 2.1 構造的の特長」の図-2.1.2、「第 3 章 DAK 式壁高欄の部材設計 3.7 構造細目」の図-3.7.3 にそれぞれ示したように、主鉄筋となるループ鉄筋継手内に壁高欄の衝突荷重による曲げ挙動に対して、ループ鉄筋の機能を満足させるための拘束鉄筋として D13 鉄筋を 2 本配置している。

本鉄筋は、基本的には、PCa 壁高欄を建て込み、高さ調整が終了した段階で、施工現場にてループ鉄筋内に挿入される鉄筋である。

本鉄筋の配置に関しては、これまで実施した接合モルタルの収縮解析の結果として、接合モルタルに収縮ひび割れが生じるとすれば、その抑制効果として接合モルタル内の橋軸方向鉄筋の鉄筋比の影響が大きく、その鉄筋比が大きければ大きいほど抑制効果が高いことが分かっている^{24)、25)}。そのため、ループ鉄筋内に配置する橋軸方向鉄筋については、不連続とせず、重ね継手を有する鉄筋配置を基本とする。なお、重ね継手の位置については、図-7.2.4 に示すように、施工性を考慮して、PCa 壁高欄同士の接合目地でもその他の位置でもよいとし、また、2 本の重ね継手位置は、それぞれずらすことなく、同位置でよいとした。これは、接合モルタル部に曲げあるいは引張りが卓越するような挙動は無く、橋軸方向鉄筋に応力集中することが無いためである。

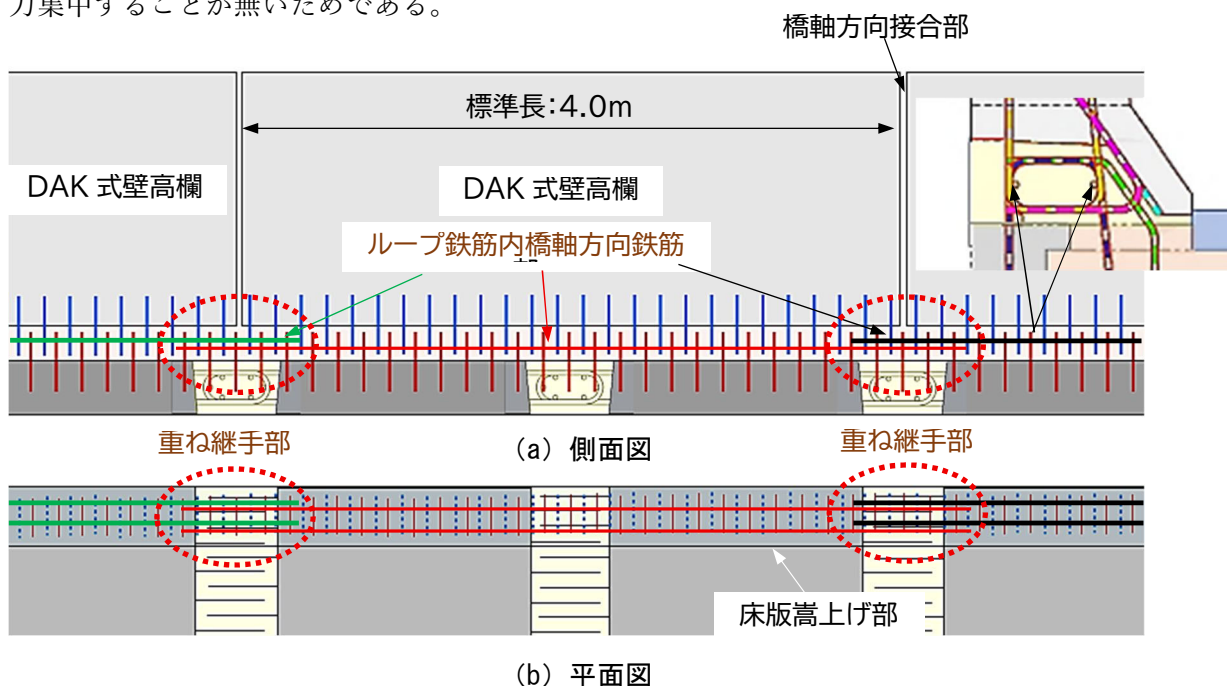


図-7.2.4 ループ鉄筋内橋軸方向鉄筋の重ね継手配置例

また、ループ鉄筋内に配置する橋軸方向鉄筋の長さについては、PCa 壁高欄の長さに合わせる必要が無く、あくまで、施工性等を考慮して決定すればよいとした。

なお、重ね継手長は、道路橋示方書の規定に準じ、式-7.2.1により計算してよいとした。

$$l_a = \frac{\sigma_{sa}}{4\tau_{0a}} \cdot \phi \quad \dots \dots \dots \text{式-7.2.1}$$

ここに、 l_a : 付着応力度より算出される重ね継手長 (mm)
 σ_{sa} : 鉄筋の許容引張応力度 (N/mm²)
 τ_{0a} : コンクリートの許容付着応力度 (N/mm²)
 ϕ : 鉄筋の直径 (mm)

重ね継手長を式-7.2.1に従って計算すると、接合モルタルの設計基準強度は 45N/mm²であり、鉄筋 (SD345) の重ね継手長を算出する場合の許容引張応力度を 200N/mm²とし、コンクリートの許容付着応力度として 2.0N/mm²を考慮すると、 $l_a = 200 \times 13 / (4 \times 2.0) = 325\text{mm}$ となる。従って、**重ね継手長は、325mm 以上確保することとする。**

但し、接合モルタルの充填に際し、充填長さが非常に長く、途中に妻枠を設けざるを得ない場合には、図-7.2.5 に示すように、途中に妻枠を設けてよいが、この場合には、ループ鉄筋内の橋軸方向鉄筋は不連続となるが、この場合の DAK 式壁高欄の構造安全性については、「試験法 441」¹⁹⁾ に準じた衝突試験によって確認している。

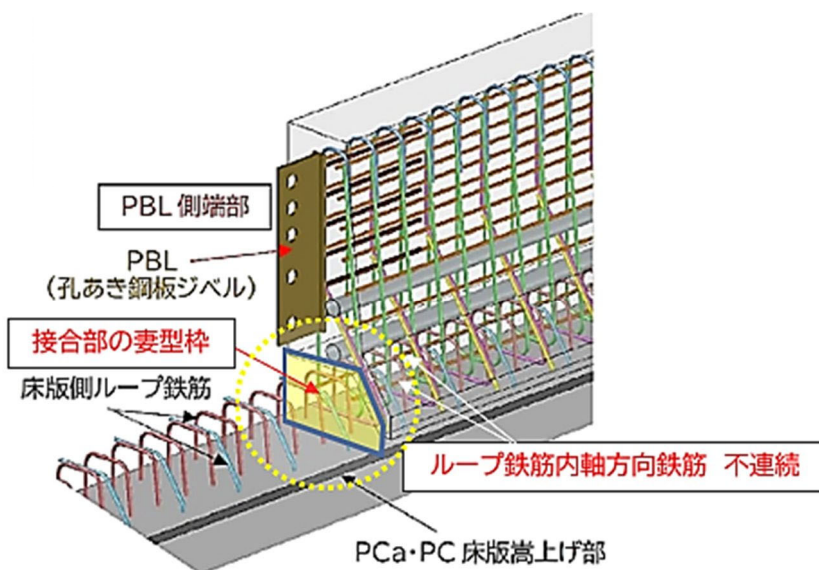


図-7.2.5 接合モルタル内に妻枠を設ける場合の概念図

ここで注意しなければならないのが、鉄筋が不連続になる場合は、接合モルタル内の軸方向鉄筋の鉄筋比が部分的にゼロになることである。この場合には、前述した収縮ひび割れが入り易くなるため、別途、表面に繊維シートを貼る等、ひび割れ抑制のための対策を講じることが望ましいと考えられる。

(2) 接合モルタル内の補強鉄筋の配置

ここでは、ループ鉄筋内に配置されている橋軸方向鉄筋 2 本以外の補強鉄筋について説明する。

前述したように、これまで実施した接合モルタルの収縮解析の結果として、現場施工となる接合モルタルの乾燥収縮によって、上下のコンクリート部材の拘束により、接合モルタル部は、橋軸方向に引張を受ける挙動となり、収縮ひび割れの可能性もある。収縮解析結果では、接合モルタルの収縮ひび割れに対して抑制効果が高いのは、接合モルタル部の鉄筋比を大きくするということが分かっている²⁴⁾、²⁵⁾。そのため、接合モルタル部には、フェールセーフとして、図-7.2.6 に示すように、ループ鉄筋継手部の背面外側に、補強鉄筋として、エポ筋(D13)を 2 本以上縦列に配置することとした²⁴⁾、²⁵⁾。ここで、エポ筋としたのは、鉄筋の配置部がコンクリートかぶり部内であるためである。また、「2 本以上」としたのは、構造上あるいは施工上、接合モルタル部の背面高さが標準高さ(170mm)より高くなることもあり、接合モルタル部の断面積が標準断面積より大きくなることも考えられる。その場合は、接合モルタル部の橋軸方向に対する鉄筋比が小さくなるため、鉄筋比の目安を 0.9%程度として補強鉄筋量を検討することとした²⁴⁾。なお、接合モルタル部の背面高さが 170mm 程度であれば、補強鉄筋は 2 本でよいとした。

因みに、背面高さが 170mm の標準的な接合モルタル部の断面積(図-7.2.6 参照)は、 $A_m \approx 54,000\text{mm}^2$ となるため、ループ鉄筋内 D13 鉄筋 2 本と補強鉄筋として D13 鉄筋 2 本配置の場合は、 $A_s = 4 \times 126.7\text{mm}^2 = 506.8\text{mm}^2$ となるため、接合モルタル部の鉄筋比は、 $p = 506.8/54,000 = 0.0094$ となり、0.9%を満足している。

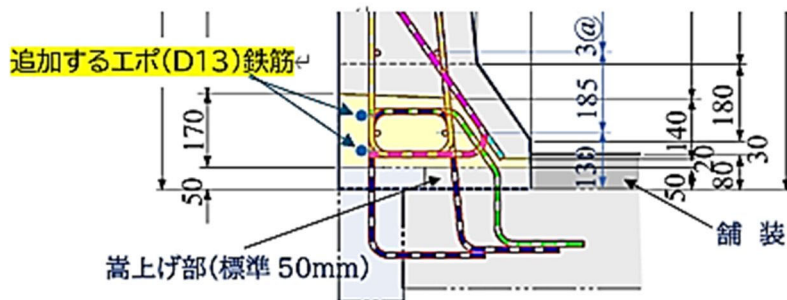


図-7.2.6 接合モルタル部の乾燥収縮に対する補強鉄筋 2 本配置例

この補強鉄筋の橋軸方向鉄筋の配置については、重ね継手による連続鉄筋とする。この場合の重ね継手長は、土木学会の「コンクリートライブラリー112 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】H15.11」に準じ、付着強度の 85%低減分を考慮し、ループ鉄筋内の橋軸方向鉄筋の重ね継手長 325mm 以上に対し、 $325\text{mm}/0.85 = 383\text{mm}$ 以上とする。

7.3 接合モルタルの使用材料及び試験練り

7.3.1 使用材料

床版と PCa 壁高欄との接合部に充填され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」を用いることを標準としている。

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、流動性の向上や遮塩性の向上を含め、高耐久な専用モルタルとして 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-7.3.1 に示し、その物性は、表-7.3.2 に示す通りで、J₁₄ 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こととしている²⁾。

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-7.3.1 「リペアメント NS TYPE II」の使用量

1袋当たりの使用量			モルタル 1m ³ 当たりの使用量 (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-7.3.2 「リペアメント NS TYPE II」の物性の参考値

フレッシュ性状の 規格値	圧縮強度 (N/mm ²)		
J ₁₄ ロート (秒)	3 日	7 日	28 日
8±2	64.5	75.9	86.8

7.3.2 試験練り

本練りに先立ち、J₁₄ 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ことを基本とする。

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-7.3.1 に示すように、全量投入後、2 分間練り混ぜる。

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-7.3.2 は、J₁₄ 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-7.3.1 試験練りの状況例



写真-7.3.2 コンシステンシー試験状況例

7.4 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、型枠がコンクリート部材と接す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、型枠下端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-7.4.1 及び写真-7.4.2 は、「第3章 DAK 式壁高欄の部材設計 3.7.2 PCa 壁高欄の形状」の図-3.7.3 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-7.4.1 は前面型枠の設置例で、写真-7.4.2 は背面の透明型枠の設置例を示す。



写真-7.4.1 前面型枠の設置例



写真-7.4.2 背面透明型枠の設置例

前面に袴を有する PCa 壁高欄では、前面から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-7.4.2 に示すように、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モルタルの充填状況を確認できないような施工環境やその他の理由で前面袴を設けられない場合については、後述する「7.6 モルタルの充填」で詳述するが、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-7.4.3 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-7.4.4 は、前面型枠の設置状況例である。

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。但し、両者の場合、PCa 壁高欄側の下端の形状（勾配）に留意する必要がある、エアが抜けやすくなるよう、モルタル充填方法に応じて勾配の方向に留意しなければならない。

前面枠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、ターンパクル等で堅固に固定する必要がある。



写真-7.4.3 モルタル漏れ防止用テーピングの例 写真-7.4.4 前面型枠の設置状況例

また、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よいとした。これについては、前述の「7.2.6 ループ鉄筋内橋軸方向鉄筋及び補強鉄筋の配置」で述べた通りである。

7.5 モルタル材の仮置き及び本練り

7.5.1 モルタル材の仮置き

製造工場より出荷された「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-7.5.1 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 袋分を使いきることを望ましい。



写真-7.5.1 モルタル材の仮置き例

7.5.2 モルタルの本練り

本練りは、写真-7.5.2 に示すように、モルタル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-7.5.3 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 **2 分間練り混ぜる**。



写真-7.5.2 本練り状況例



写真-7.5.3 超微細粉塵対策型集塵機の例

一方、本練りのシステム例を図-7.5.1 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、モルタルポンプ 1 台に対してモルタルミキサー 2 台を使用するのが望ましい。

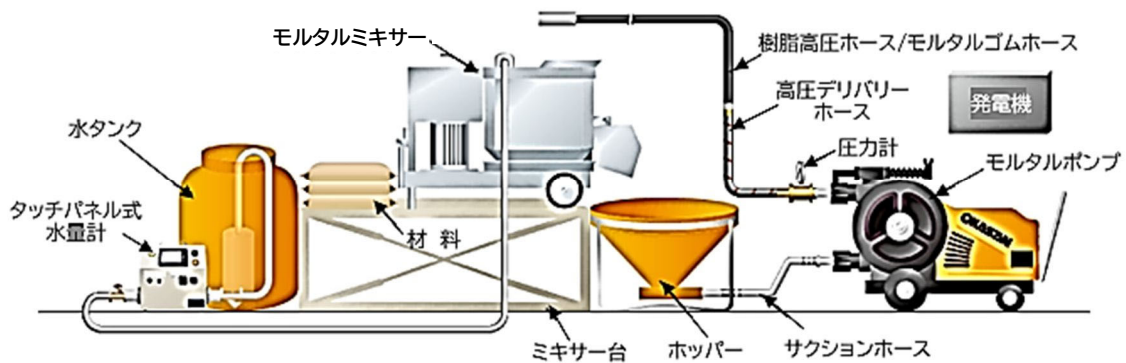


図-7.5.1 本練りのシステム例

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、システム車の使用が効果的である。

また、システム車の一例として、車載プラントの例を能力を含め図-7.5.2 に示す²⁶⁾。

■ 車両仕様 (積載8tベース車)

項目		ポンプ圧送能力
全長 (mm)	約 8,000	水平最大 約100m or 高さ 約30m
全幅 (mm)	約 2,345	圧送ホース (常設)
全高 (mm)	約 3,650	70m
最大積載量 (m ³)	2.5	
連続能力 (m ³ /h)	3	

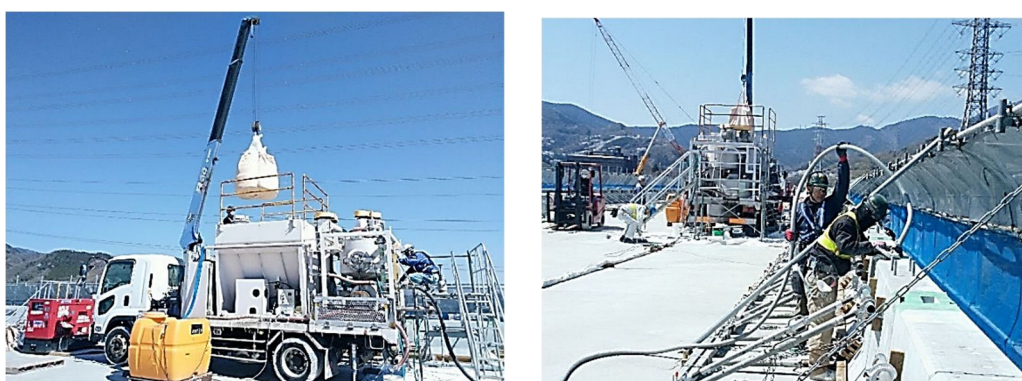
図-7.5.2 システム車の一例

システム車は、従来工法による材料搬入、材料の練り混ぜ作業等をプラントオペレーターが行うことで、現場作業が大幅に軽減できるのが特徴である。また、ミキサー、モルタルポンプ、圧送ホースまでを車載化しているため、こと前の機材の手配も必要が無い。

本システム車の場合、水平最大 100m の圧送及び 1 時間に約 3.0m³ の練り混ぜが可能で、フレコンバッグによる材料の追加も可能である。また、従来工法の袋割り時の粉塵、使用後の産廃(空袋)も生じない。

なお、システム車の使用に関しては、施工環境、経済性や充填ホースの差し込みスペース等を勘案して検討することが望ましい。

システム車を用いた施工例を写真-7.5.4 に示す²⁷⁾。



(a) フレコンバッグによる材料投入状況 (b) モルタル充填状況(壁高欄天端から充填)

写真-7.5.4 システム車の施工例

7.6 モルタルの充填

7.6.1 モルタル充填前の確認事項

モルタルの充填に際しては、以下の項目を確認してから充填するのが望ましい。

- ① 「7.2.5 通信管路・接合部の施工」の「図-7.2.3 通信管路の配置状態」で説明したように、PCa 壁高欄同士の接合部に配置される「接合管」が所定の位置に配置されていることを確認する。
- ② 「7.2.6 ループ鉄筋内橋軸方向鉄筋及び補強鉄筋の配置」で説明したように、ループ鉄筋継手内に配置される橋軸方向鉄筋 D13 鉄筋 2 本が設計通り配置されているかを確認するとともに、接合モルタルの乾燥収縮に伴う収縮ひび割れの抑制のための補強鉄筋として、フェールセーフとしての所定のエポ筋が配置されているかを確認する。
- ③ 接合モルタル部に配置される透明型枠等の型枠がしっかり固定されているかを確認するとともに、型枠にモルタル充填用ホースあるいはエア抜きホースが設置される場合は、それらのホースが所定の位置に配置されているかを確認する。これらの確認の詳細については、後述する「7.6.3 モルタル充填施工の手引き」を参照してほしい。

また、モルタルの充填方法は、「7.4 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施工環境やその他の理由等で前面袴構造を用いることが出来ない場合についても施工可能であるため、ここでは、これら二つの方法についての施工例を示す。

7.6.2 モルタルを流下させる方法

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、「7.4 接合部の型枠設置」の写真-7.4.1 及び写真-7.4.2 で説明した通り、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の流下方法は、以下の通りである。

- ① モルタルホースの筒先を、写真-7.6.1 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 式壁高欄の部材設計 3.7.2 PCa 壁高欄の形状」の図-3.7.4 で説明した PBL 接合部の縞鋼板背面の空間)から差し込み、モルタルを流下させてループ継手の接合部を横流れさせる(写真-7.6.2 参照)。
- 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ことが多く、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-7.6.2 に示すように、透明型枠の使用を標準としている。



写真-7.6.1 壁高欄天端からの充填例

写真-7.6.2 透明型枠による充填確認状況例

なお、上記の方法によるモルタル充填方法については、施工の確実性が壁高欄の耐久性に大きく影響することから、別途、「**リペアメント NS TYPE II**」を用いた**接合モルタルの充填施工の手引き**」を纏め、モルタル充填施工に反映している²⁸⁾。

7.6.3 モルタルを下から充填させる方法

モルタルを下から充填させる方法は、一般的に、「7.4 接合部の型枠設置」の写真-7.4.3及び写真-7.4.4で説明したように、接合モルタルの充填施工環境やその他の理由で、壁高欄の前面袴構造を採用出来ない場合の一つの方法である。

充填方法は、これまでの実績として、図-7.6.1に示すように、一般的に、以下の方法で行なわれることが多い。

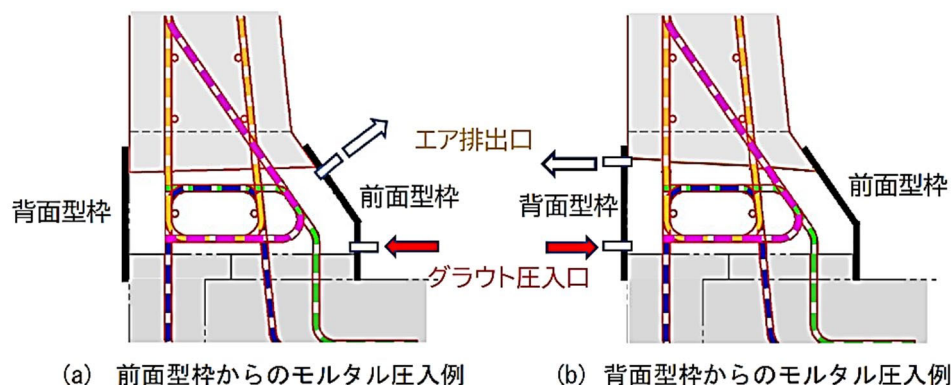


図-7.6.1 前面袴を設けない場合のモルタルの圧入方法例

この場合のモルタルの充填方法は、以下の通りである。

- 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、予め設けた充填口やエア排出口に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充填用ホース及びエア抜き用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を充填する場合には、「7.6.1 モルタルを流下させる方法」で説明した方法と同様、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、モルタルを流下させて接合部を横流れさせる方法がある。
- ③ 型枠にビニルホースを取り付ける場合は、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、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。
- ⑤ 型枠にビニルホースを取り付けた場合には、型枠脱型後のモルタル表面の後処理が必要となる場合がある。
- ⑥ 図-7.6.1 (a) 及 (b) の充填方法においては、エア抜きの状況を確認するため、部分的に透明型枠を用いてもよいと考えられる。

写真-7.6.3 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-7.6.4 は、写真-7.6.3 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している。



写真-7.6.3 前面型枠設置状況例



写真-7.6.4 水頭圧を掛けた状況例

写真-7.6.4 のように、壁高欄背面からエアを抜く場合には、図-7.6.1 (b) 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。

7.6.4 モルタル充填施工の手引き

床版と DAK 式壁高欄との接合モルタル部は、DAK 式壁高欄の構造上及び耐久性上、非常に重要な部位である。そのため、充填施工については、入念な施工計画が重要である。

「7.6 モルタルの充填」で、モルタルの施工方法について述べたが、基本的な内容に終了しており、具体的なモルタル充填方法については述べていないのが現状である。

そこで、本モルタルの充填施工の重要性を鑑み、別途、「「リペアメント NS TYPE II」を用いた接合モルタル充填施工の手引き」²⁸⁾ を纏めている。

本手引きについては、モルタル充填時の日常管理方法も明記しているため、現場施工においては、本手引きを参照して頂きたい。

7.7 養生

表-7.7.1 に養生期間の目安を示すが、施工環境等によって、別途、適切な養生期間を検討するのがよい。

表-7.7.1 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

但し、冬季においては、水分が凍結しないよう、モルタル充填後、少なくとも5日程度は5℃以上に保つよう、シート等を用いて養生を行うのがよい。

7.8 接合モルタル部の型枠脱型、後片付け、完成

モルタルの充填・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-7.8.1に示す。



写真-7.8.1 完成状況

第8章 DAK式壁高欄の標準施工工程

8.1 概要

NEXCOでは、鋼橋のコンクリート床版の劣化に伴い、橋梁床版の更新こと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-8.1.1**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-8.1.1 更新こと業の施工例

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、更新こと業の場合は、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、場所打ち壁高欄に対してどれほど施工工程が短縮できるかを、標準的な施工工程にて比較する。

8.2 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-8.1.1**及び**図-8.2.1**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-8.2.2**に示すように、片ラインの片側壁高欄とする。

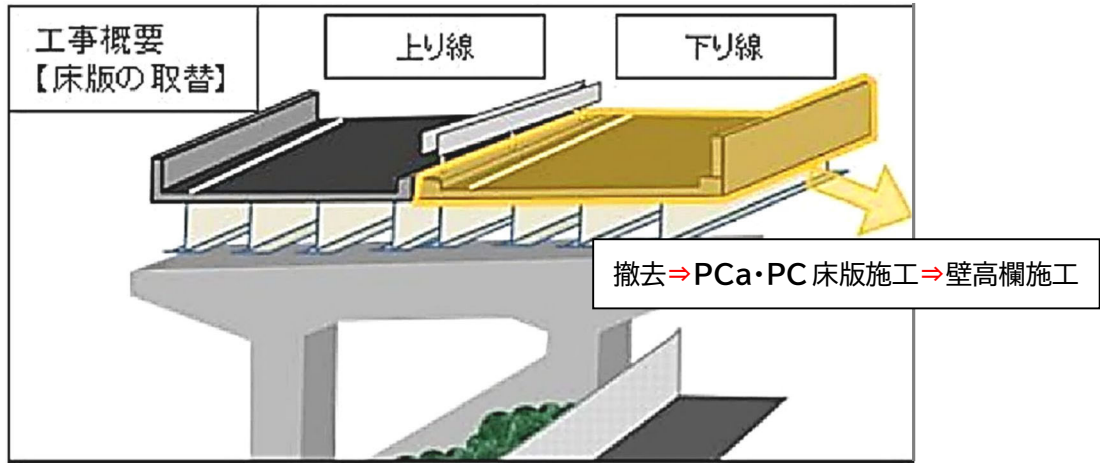


図-8.2.1 標準施工工程算出のための施工図例

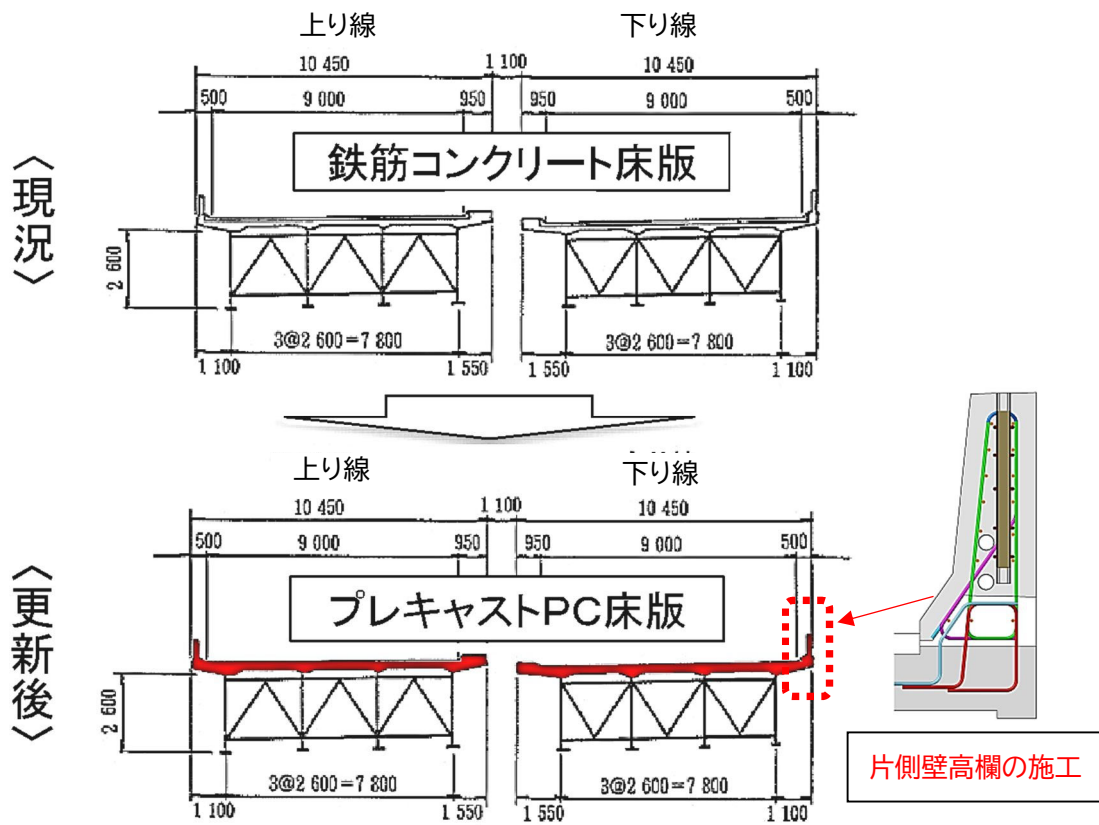


図-8.2.2 標準施工工程算出用対象壁高欄

8.3 標準施工工程の算出条件

標準施工工程の算出条件は、橋梁の更新こと業として標準的な橋長を選択し、図-8.2.2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 : 遮音壁アンカー等付属物なし、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する。

8.4 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、表-8.4.1 及び表-8.4.2 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-8.4.1 DAK 式壁高欄の標準施工工程 (片ライン片側 150m 施工)

工種	日数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
PCa 壁高欄搬入		■	■														
高さ調整用ボルト等設置		■	■														
PCa 壁高欄建込み・仮固定		■	■	■	■												
接合部型枠・鉄筋配置			■	■	■	■	■	■									
接合部モルタル充填						■	■	■	■								
脱型・仕上げ・片付け									■	■							

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-8.4.2 場所打ち壁高欄の標準施工工程 (片ライン片側 150m 施工)

工種	日数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
鉄筋配置		■	■	■	■												
型枠配置			■	■	■	■	■	■	■								
遮音壁アンカー等付属物配置						■	■	■	■								
コンクリート打設								■	■	■	■						
養生										■	■	■	■	■			
脱型・仕上げ・片付け														■			



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。

8.5 標準施工工程に関するまとめ

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、橋梁の更新工こと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、-8.2.1 及び -8.2.2 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9章 DAK 式壁高欄の部分取替え

9.1 部分取替えの基本的考え方

DAK 式壁高欄の部分取替えとは、基本、DAK 式壁高欄の施工後、車両の衝突や部分劣化により、壁高欄の部分補修が困難な場合に限り、部分的な取替えを可能としている。

DAK 式壁高欄は、「第2章 DAK 式壁高欄の特長 2.1 構造的の特長」で述べた通り、床版との接合をループ鉄筋継手で、また、橋軸方向の接合を PBL 接合としているため、部分取替えについては、ワイヤーソーイング工法及びウォータージェット工法等により、床版との接合部では、床版から立ち上がるループ鉄筋（主鉄筋）及び前面ハンチ筋を残すことで、また、橋軸方向の接合部では、PBL あるいは縞鋼板の溝部を残すことで、そこに、新たな DAK 式 PCa 壁高欄ブロックを建て込み、接合モルタルを充填することによって部分取替えが可能となる。

但し、施工された DAK 式壁高欄に既に通信管路が配置され、通信ケーブルが配置されている場合には、予め、通信ケーブルを撤去する必要がある。

9.2 部分取替え方法

部分取替え方法は、基本、**図-9.2.1** 及び**写真-9.2.1** に示すようなワイヤーソーイング工法により、DAK 式壁高欄を鉛直及び水平方向にそれぞれ切断し、切断したブロックを取り除いた後、前述の「9.1 部分取替えの基本的考え方」に述べた通り、ウォータージェット工法等により、床版からのループ鉄筋及びハンチ筋を残し、また、橋軸方向の PBL あるいは縞鋼板の溝部を残し、そこに新たな DAK 式壁高欄を建て込むことで部分取替えを可能としている。

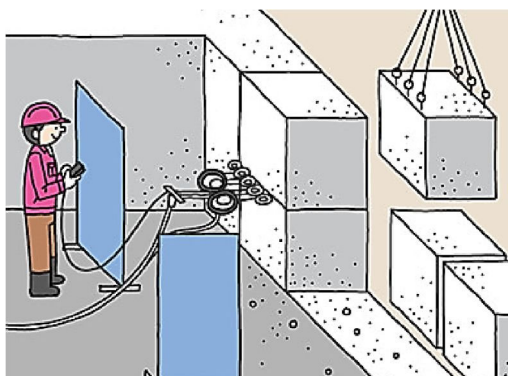


図-9.2.1 ワイヤーソーイング工法の概要図



写真-9.2.1 鉛直切断の状況例

9.3 DAK 式壁高欄の切断位置

DAK 式壁高欄の損傷ブロックの切断位置については、基本、PCa ブロック単位と考えており、先ず、水平方向の切断については、**図-9.3.1** に示すように、床版からのループ鉄筋（主鉄筋となるループ鉄筋及び前面ハンチ筋）を残す必要があるため、**図-9.3.2** に示すように、床版から立ち上がるループ鉄筋及びハンチ筋の上方で橋軸方向に水平切断を行う。

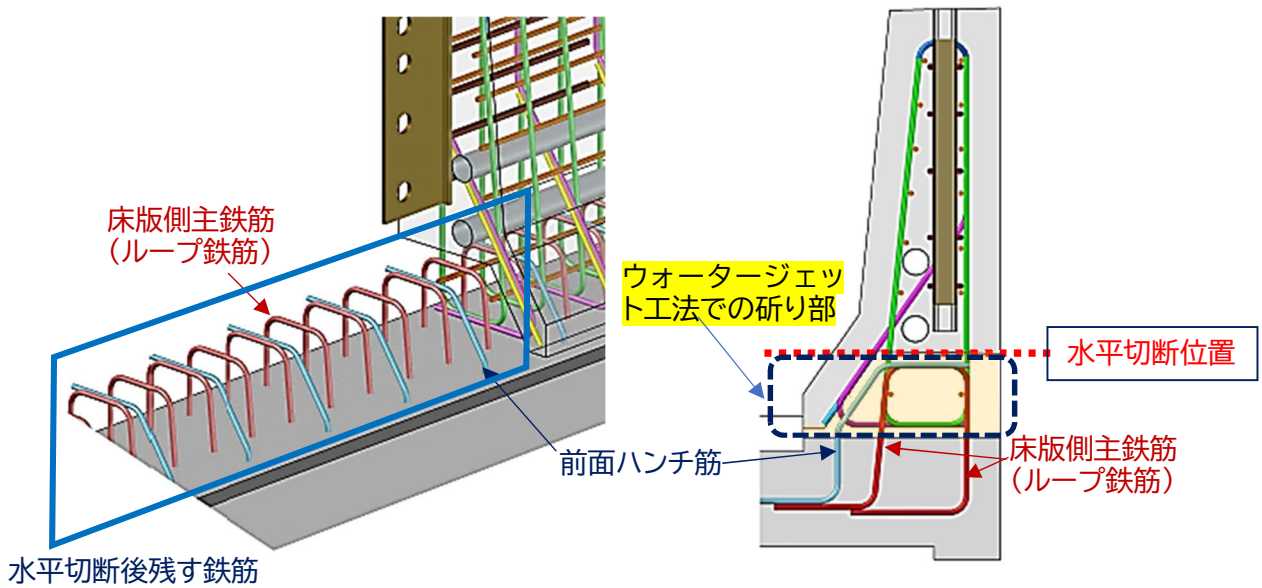


図-9.3.1 床版からのループ鉄筋配置

図-9.3.2 水平切断位置

また、鉛直切断位置においては、PBL 及び縞鋼板の溝部を残す必要があるため、図-9.3.3 に示す位置での鉛直切断が望ましい。

まず、PBL 部を残し、PBL を突出させる場合には、図-9.3.3 の右下の赤丸で示す構造にする必要があるため、図に示すように、PBL の背面に「鉛直切断面 A」に沿って鉛直切断し、切断して残った部分をウォータージェット工法等で除去し、PBL を突出させる。

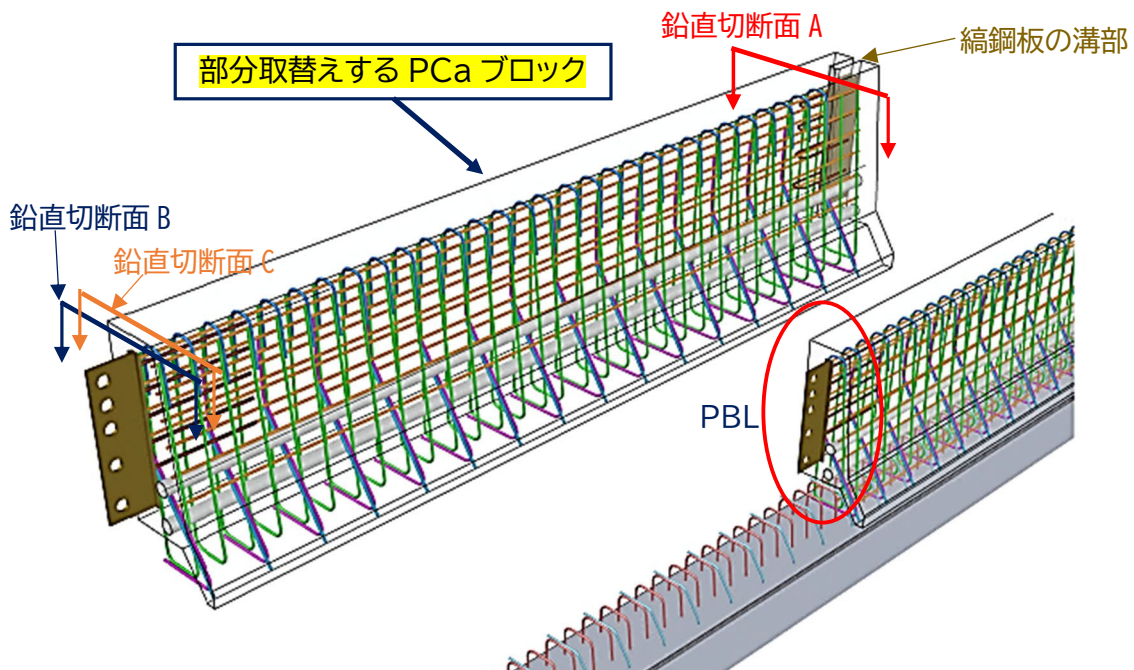


図-9.3.3 鉛直切断位置

一方、図-9.3.3の上図に示す縞鋼板が配置されている溝部を残すためには、橋軸方向接合部の「鉛直切断面 B」に沿って鉛直切断し、ウォータージェット工法等で PBL 及び溝部に充填された接合モルタルを除去して溝部を残す。但し、「鉛直切断面 B」で切断する場合、PBL 鋼板を鉛直切断する必要があるため、鋼板の切断に時間を要することが考えられるため、この場合は、「鉛直切断面 B」を避け、「鉛直切断面 C」で切断することも検討する必要がある。この場合は、ウォータージェット工法等による施工範囲が多くなることに留意しなければならない。また、通信管路がある場合には、通信管路に水が入らないよう十分注意する必要がある。

ここに、劣化した PCa ブロックを切断・撤去し、不必要な部分をウォータージェット工法等で除去した後の状態を図-9.3.4に示す。

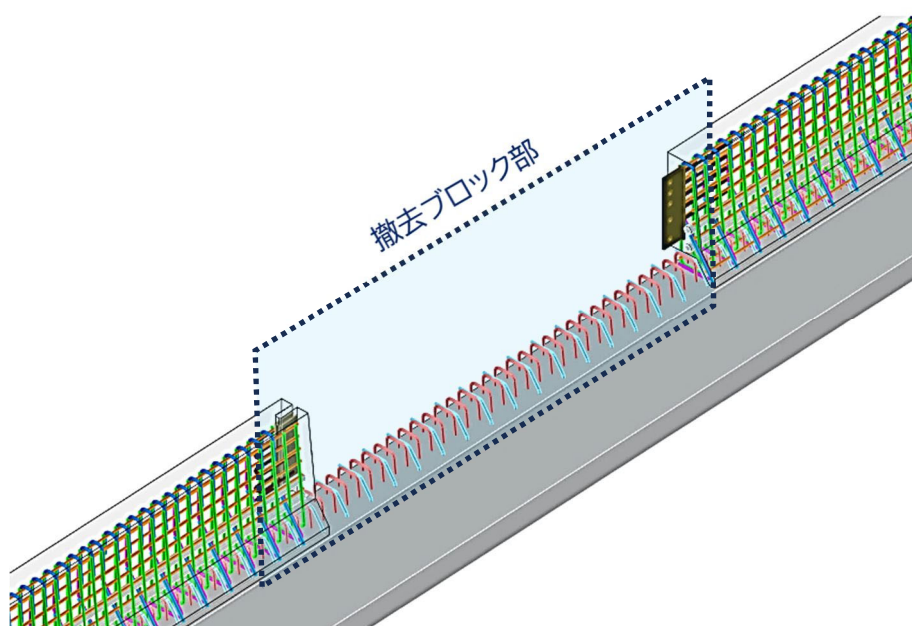


図-9.3.4 劣化した PCa ブロックの撤去後の状態

但し、通信管路がある場合は、写真-9.3.1に示すが、DAK 式壁高欄に配置されている通信管路の接合部の配置状況（バネ内挿管及び受管の配置）がどのように配置されているかを十分把握しておく必要がある、切断・撤去するブロックの左右に、どのような管が配置されているかを考慮した上で、新たに設置する PCa 壁高欄の製作時に、配置する通信管路の部材を決定・配置することが重要である。

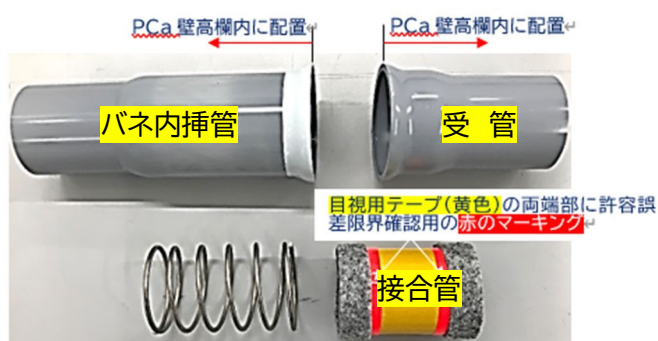


写真-9.3.1 通信管路の配置関係

9.4 部分取替えの施工方法

部分取替えの施工方法は、前述の「9.1 部分取替えの基本的考え方」、「9.2 部分取替え方法」及び「9.3 DAK 式壁高欄の切断位置」より、概ね、図-9.4.1の施工フローとなる。

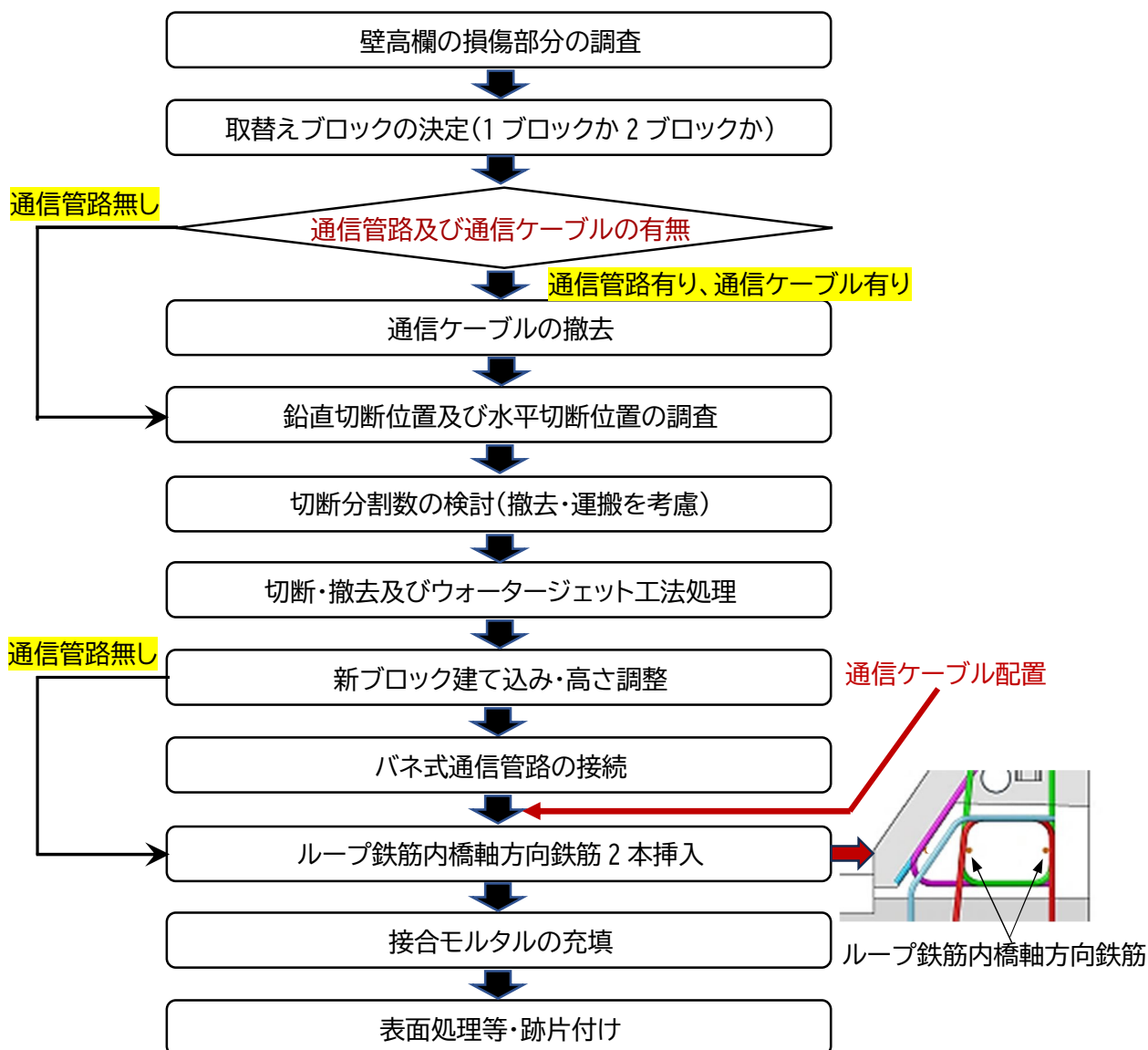


図-9.4.1 DAK 式壁高欄部分取替え施工フロー

ここで、ループ鉄筋内に配置する橋軸方向鉄筋（D13 鉄筋）の挿入について、新たに配置する DAK 式壁高欄の両側には壁高欄が存在するため、ブロック長に合わせた 1 本の鉄筋の挿入は困難であると考えられるため、短い鉄筋を挿入して重ね合わせる等の配置の工夫が必要である。

また、前述の「7.2.6 ループ鉄筋内橋軸方向鉄筋及び補強鉄筋の配置」で述べたフェールセーフとしての補強鉄筋（エポ筋）についても壁高欄接合部で不連続配置となるため、接合モルタルのひび割れ抑制対策を講じることが望ましいと考えられる。

第 10 章 DAK 式壁高欄のその他の技術情報

10.1 壁高欄背面に作業スペースを確保できない場合の施工方法

10.1.1 概要

近年の床版取替工ことにおいては、図-10.1.1 に示すように、上下線が近接して施工される場合があるが、この場合、新たに施工する壁高欄の背面に作業スペースが確保できない可能性がある。

このような施工環境では、DAK 式壁高欄の標準構造（前面袴及び背面透明型枠）が採用できなくなる可能性があるため、壁高欄背面に作業スペースが無い場合の DAK 式壁高欄の構造を含めた施工方法の検討が必要となる。

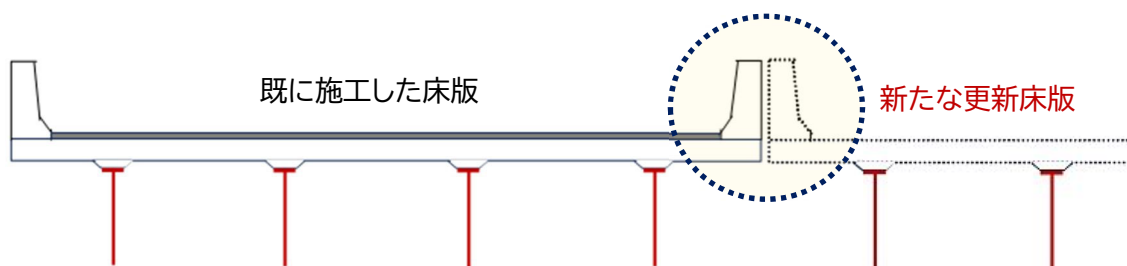


図-10.1.1 施工橋梁が隣接した場合の中分側の壁高欄配置例

DAK 式壁高欄の標準構造（前面袴有り）の場合、図-10.1.2 に示すように、接合モルタル充填部背面には標準的に透明型枠が設置されるため、壁高欄背面には、透明型枠設置、固定等の作業スペースが必要となる。

一方、図-10.1.1 に示すように、壁高欄背面に作業スペースを確保できない場合には、背面透明型枠の設置、固定が出来なくなるため、モルタル充填目視確認の観点から、DAK 式壁高欄の前面袴構造を有する標準構造が採用できなくなる可能性が高い。

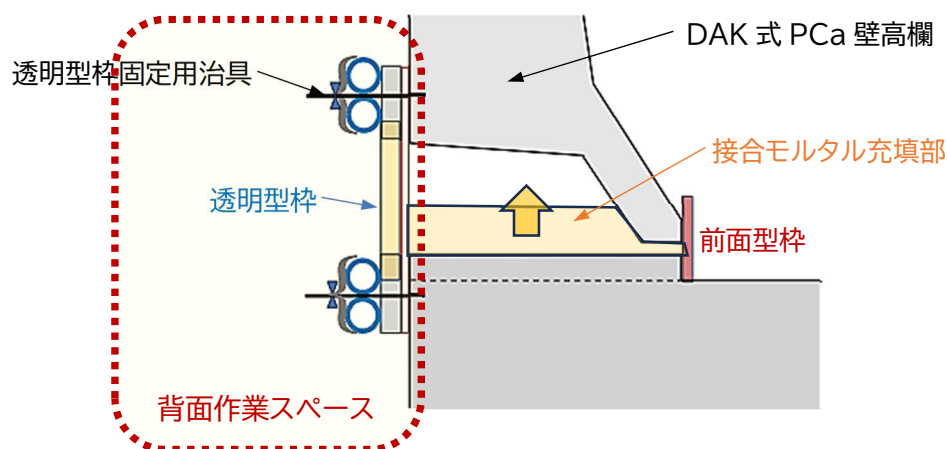


図-10.1.2 背面に透明型枠を設置する場合の背面作業スペース

ここで、壁高欄背面に作業スペースが確保できない場合に考えられる対策として、DAK式壁高欄の構造を含めた施工方法を述べる。

考えられる施工方法としては、

- ① DAK式壁高欄の背面に袴を設けた施工方法
- ② 背面に壁高欄前面側から施工できる埋め殺し型枠を用いた施工方法
- ③ その他の施工方法

が挙げられる。

ここでは、上記の①及び②の施工方法について具体的に説明する。

10.1.2 DAK式壁高欄の背面に袴を設けた施工方法

DAK式壁高欄のPCaブロック背面下端に鉛直袴を設ける断面構造と、DAK式壁高欄の標準となっている前面袴構造の比較を図-10.1.3に示す。

背面袴及び主鉄筋ループ継手断面

前面袴及び主鉄筋ループ継手標準断面

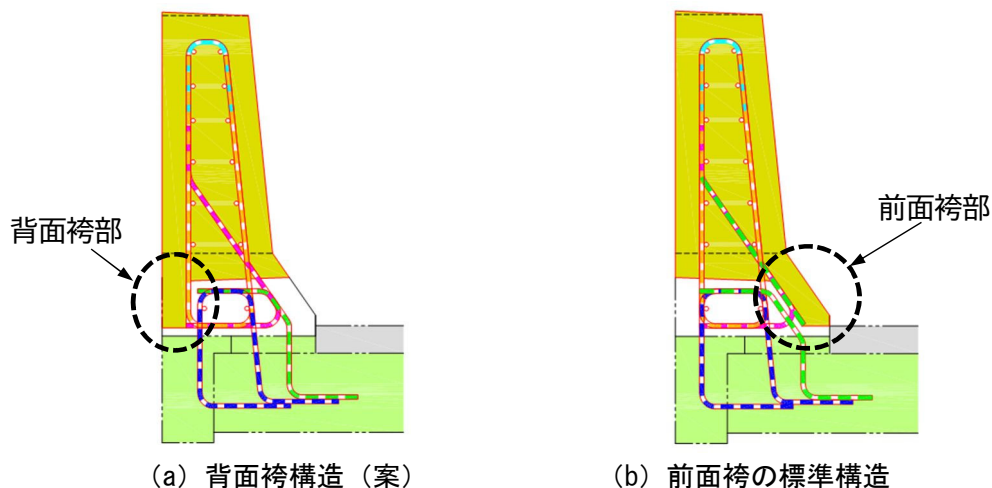


図-10.1.3 DAK式壁高欄の背面袴構造（案）と標準構造の比較

また、図-10.1.3 (a) の背面袴構造例の拡大図を図-10.1.4に示す。

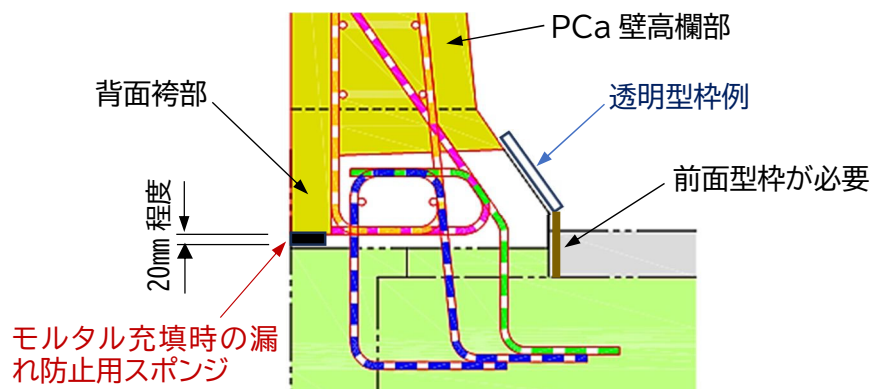


図-10.1.4 DAK式壁高欄の背面袴構造（案）の拡大図

本施工方法は、壁高欄背面に作業スペースが無くても、背面に袴を有する DAK 式壁高欄を建て込むだけとなるため、最も簡単な方法として考えられる。但し、この場合、以下の注意が必要となる。

- ① 図-10.1.4 に示したように、モルタル充填時のモルタル漏れ防止用に、背面袴の下側にスポンジの配置等の対策が必要である。
- ② 前面型枠の設置が必要で、堅固な型枠止めの対策が必要である。
- ③ 背面に透明型枠が設置できないため、モルタル充填時の充填確認用の透明型枠の設置等の対策が必要である。

また、本工法の場合には、以下の課題が挙げられる。

- ❶ 背面側袴下端部にモルタル漏れ防止用のスポンジが配置されるため、衝突荷重に対する圧縮側の抵抗断面積が減少するため、部材設計における安全性の照査が必要である。
- ❷ DAK 式 PCa 壁高欄の建て込み時には、高さ調整が必要なため、スポンジの厚さ等、検討が必要である。
- ❸ 前面型枠については、モルタル充填時の充填確認のための透明型枠やエア抜き等の対策が必要である。

10.1.3 壁高欄背面に埋め殺し型枠を用いた施工方法

(1) 壁高欄背面に埋め殺しステンレス型枠を用いた施工方法

本施工方法は、壁高欄前面側から施工できる方法である。

ここで考えられる施工方法は、背面に埋め殺し型枠を設置する方法で、この場合、埋め殺し型枠の設置は、基本、前面からの作業となる。

本工法の埋め殺し型枠の構造及び固定方法の概念を図-10.1.5 に示す。

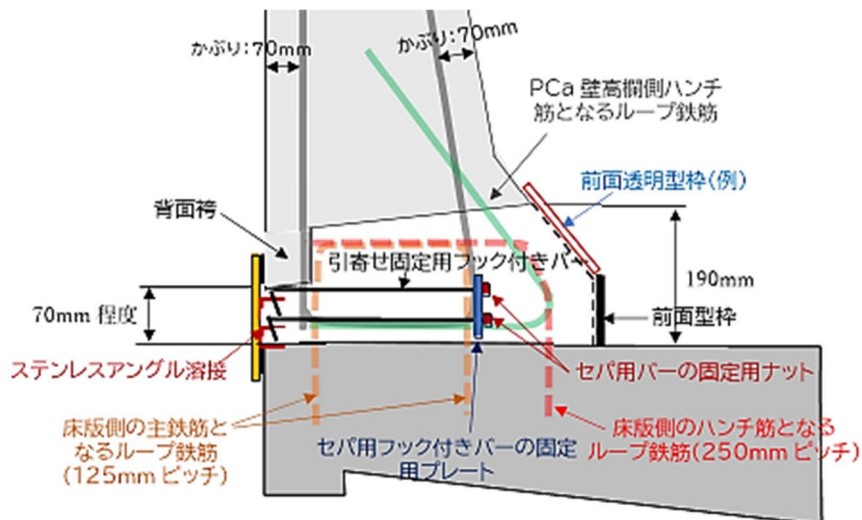


図-10.1.5 DAK 式壁高欄の背面に埋め殺し型枠を用いる施工方法の概念図

本施工方法は、実物大試験体を用いたモルタル充填試験を実施しているが、まだ、実用化された施工方法ではない。

本施工方法を検討する場合は、以下の注意が必要である。

- ① 図-10.1.5 に示したように、モルタル充填時のモルタル漏れ防止用に、ステンレス埋設型枠の上下にスポンジの配置等の対策が必要である。
- ② 埋設型枠引寄せ棒は、モルタル充填試験結果として、上下2段必要となっている。
- ③ 背面に透明型枠が設置できないため、モルタル充填時の充填確認用の透明型枠の設置等の対策が必要である。

また、本工法の場合には、以下の課題が挙げられる。

- ❶ システム車等の充填圧が高い場合の充填確認が必要である。
- ❷ 施工誤差に対する埋設型枠の設置方法の検討を含めた充填漏れ確認等に対する施工方法の検討が必要である。
- ❸ 引寄せ固定用棒が2段になること、また、引寄せ固定用棒の橋軸方向の配置本数及び引張強さの検討が必要である。

(2) 壁高欄背面にソケット及びステンレス埋め殺し型枠を用いた施工方法

本工法は、図-10.1.6 に示すように、壁高欄背面の床版にステンレス製のソケットを用い、ステンレス埋め殺し型枠を併用する施工方法である。

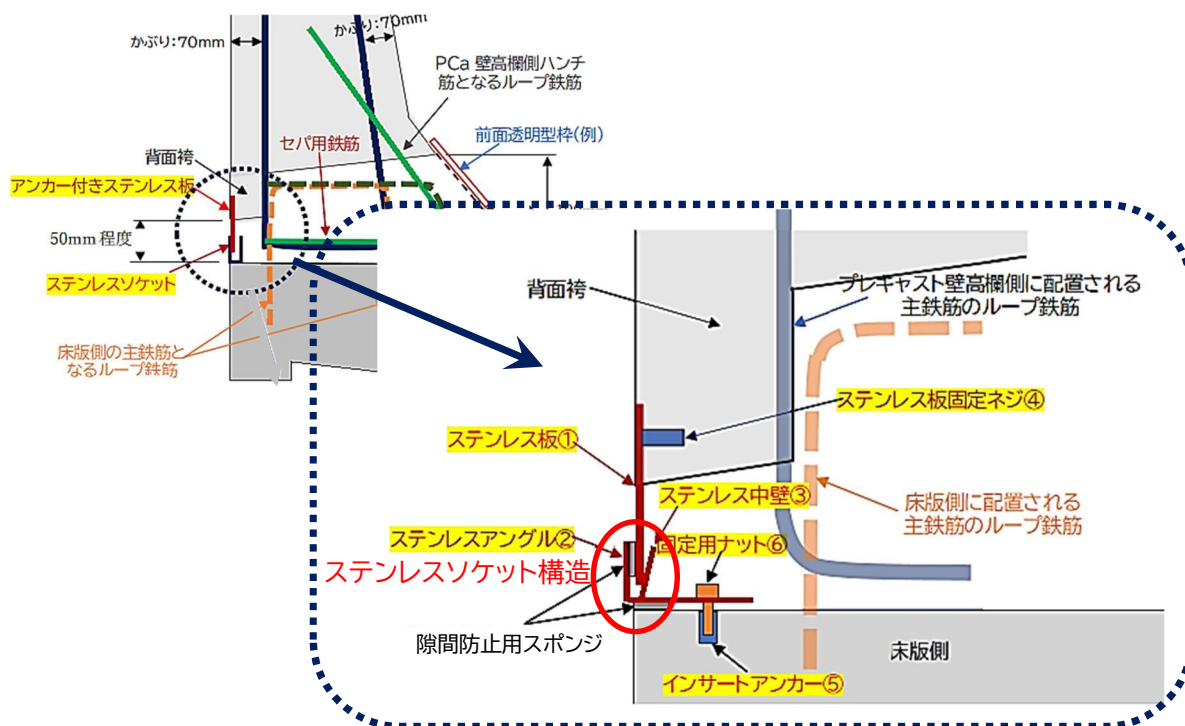


図-10.1.6 DAK式壁高欄の背面に一部ソケットを用いる施工方法

本施工方法については、施工方法案としての位置づけであるため、以下の注意が必要である。

- ① 図-10.1.6 に示したように、ステンレスソケット構造の詳細を検討する必要がある。
- ② ステンレスソケットに差し込むステンレス埋め殺し型枠の詳細を検討する必要がある。
- ③ 背面に透明型枠が設置できないため、モルタル充填時の充填確認用の透明型枠の設置等の対策が必要である。

また、本工法の場合には、以下の課題が挙げられる。

- ① システム車等の充填圧が高い場合のステンレス型枠の板厚を検討する必要がある。
- ② PCa 壁高欄建て込み時の高さ調整に対して、PCa 壁高欄側に予め配置されるステンレス埋め殺し型枠の高さ、厚さ等の検討が必要である。
- ③ 埋め殺し型枠の橋軸方向の接合方法についても具体的な検討が必要である。
- ④ 床版側に配置するソケット部の構造詳細を検討する必要がある。

以上、壁高欄に作業スペースを確保できない場合の DAK 式壁高欄の施工方法について 3 案紹介したが、これらの施工方法の具体的な採用に当たっては、発注者と協議の上、詳細な構造及び施工方法の検討が必要である。

10.2 あと施工アンカーの DAK 式壁高欄への適用性と設計方法

10.2.1 概要

PC 橋の劣化に伴い、床版のみの取替えが行えない場合には、剛性壁高欄のみの取替えが考えられ、また、床版取替えによって新設床版完成後、車線変更等のため、壁高欄を新たに設置する場合、あるいは、壁高欄の旧型形状（直壁型等）をフロリダ型形状の壁高欄に改修する場合等、一般的に、「あと施工アンカー」を用いて、PCa 壁高欄を設置する方法が考えられるが、劣化した壁高欄を新たに更新する場合には、劣化した壁高欄を撤去する必要がある、その場合の一般的な考えとしては、以下の方法が考えられる。

- ① 劣化した壁高欄をウォータージェット工法で研って撤去する方法
- ② ワイヤソー工法等で切断して撤去する方法

ウォータージェット工法の場合には、設備が大がかりになるばかりか、水の処理も考える必要があり、また、露出した鉄筋についても、劣化した鉄筋であれば、取替える必要があり、その後の場所打ち施工にも時間を要する。

一方、ワイヤソー工法で切断する場合には、切断後、あと施工アンカーを用いることにより、PCa 壁高欄を用いることができ、施工時間も短縮できる。

10.2.2 あと施工アンカーの種類

先ず、「あと施工アンカー」とは、「土木学会・コンクリートライブラリー160」³⁰⁾では、図-10.2.1 に示すように、「金属系アンカー」と「接着系アンカー」に分類されている。「金属系アンカー」では「金属拡張アンカー」と「金属拡底アンカー」があり、また、「接着系アンカー」では「カプセル式」と「注入式」があり、それぞれ無機系材料を用いる場合と有機系材料を用いる場合とがある。

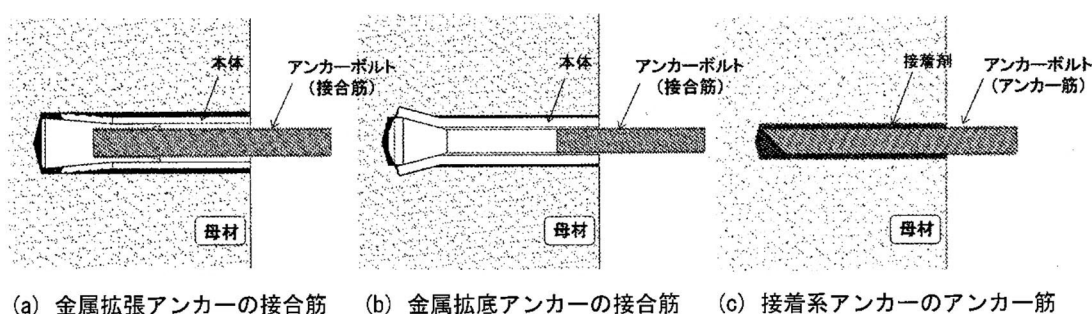


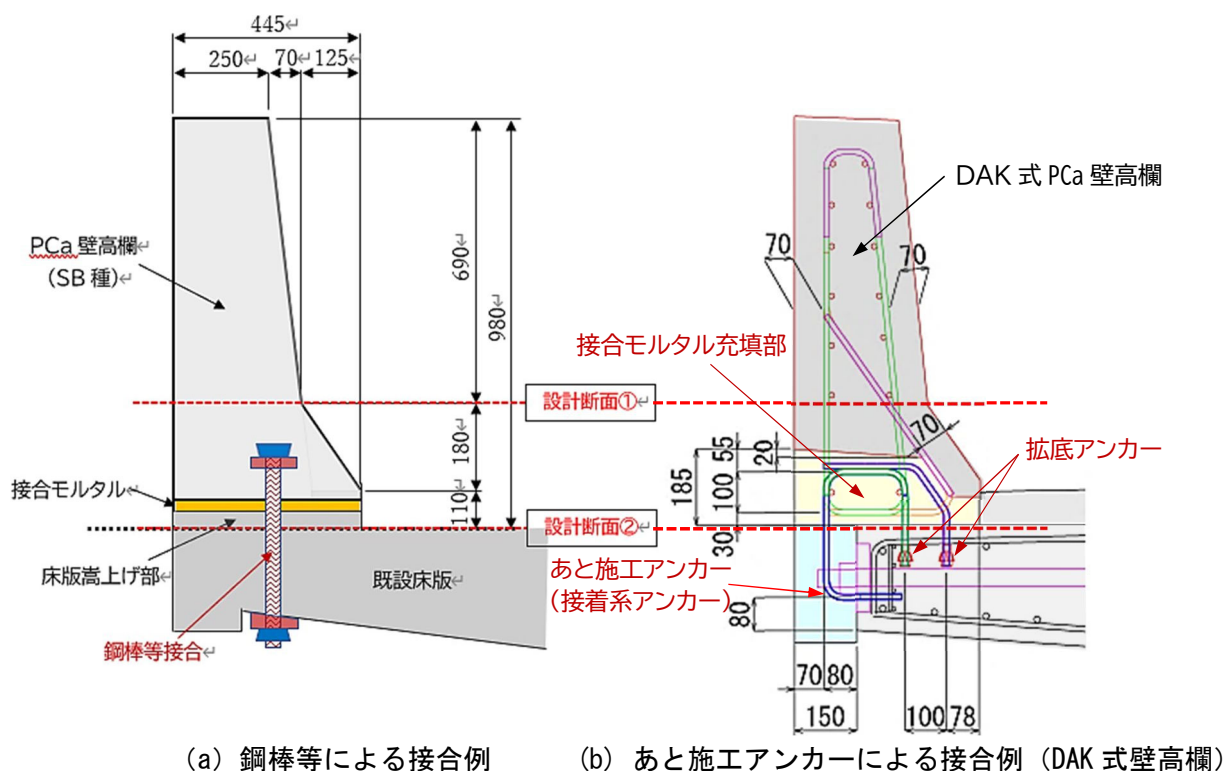
図-10.2.1 土木学会でのあと施工アンカーの分類図

DAK 式壁高欄の場合は、前記の枠内の②の方法を基本としており、維持管理、耐久性、床版との接合に関する力学特性等の観点から、「あと施工アンカー」として、既往の研究の成果を基に「金属拡底アンカー」（以下、「拡底アンカー」という）を推奨している^{30)、31)、32)}。

ここでは、本拡底アンカーの DAK 式壁高欄への適用性と設計方法について述べている。

10.2.3 DAK 式壁高欄への拡底アンカーの適用性

剛性壁高欄としての PCa 壁高欄を既設床版（PC 床版あるいは RC 床版）に施工する場合、既設床版と PCa 壁高欄との接合方法の検討が必要となるが、既設床版に PCa 壁高欄を接合する場合、一般的に、図-10.2.2 に示すように、鋼棒等による接合方法と、DAK 式壁高欄で推奨する拡底アンカーによる接合方法が考えられる。



(a) 鋼棒等による接合例 (b) あと施工アンカーによる接合例 (DAK 式壁高欄)

図-10.2.2 あと施工アンカーを用いた PCa 壁高欄との接合方法例

図-10.2.2 (a) の鋼棒等の接合の場合は、既設床版に孔を貫通させ、そこに鋼棒を挿入して接合する方法であるが、以下の課題が挙げられる。

- ① 貫通孔の径が比較的大きくなると考えられるため、既設床版を穿孔する場合には、特に PC 床版の場合、横締め鋼材を避ける必要があり、穿孔には横締め PC 鋼材の配置を十分確認する必要がある。
- ② 特に鋼棒等の既設床版下縁への定着では、定着治具が必要となるため、将来的なメンテナンスが必要で、維持管理面での費用が必要となる。
- ③ 鋼棒等の既設床版への定着後には、穿孔した孔と鋼棒等の隙間に、防錆用のモルタル等の充填が必要となり、接合モルタルの施工を含め、確実な充填が必要である。
- ④ 既設床版下縁へ定着した定着治具は、将来、劣化等により落下の可能性もあり、第三者災害への影響を検討する必要がある。

一方、図-10.2.2 (b) の拡底アンカーによる接合の場合は、既設床版に孔を貫通させる必要が無いが、以下の課題が挙げられる。

- ① 既設床版への穿孔では、貫通孔を開ける必要は無く、穿孔径も小さいが、鋼棒等の接合に比べ、穿孔の孔の数が多くなるため、穿孔作業が多くなる。
- ② 金属拡底アンカーの配置となるため、拡底アンカーの有効埋込み長さの設計が必要となる。
- ③ 金属拡底アンカーの施工本数が多く、鋼棒等の接合に比べ、アンカーの材料費が高む可能性が大きい。

しかしながら、DAK 式壁高欄では、以下に示す「DAK 式壁高欄に適用するための要求性能」を重視し、拡底アンカーを推奨するものである。

10.2.4 拡底アンカーを DAK 式壁高欄に適用するための要求性能

剛性壁高欄と既設床版との接合は、図-10.2.3 に示すように、現状、鉄筋による接合構造である。

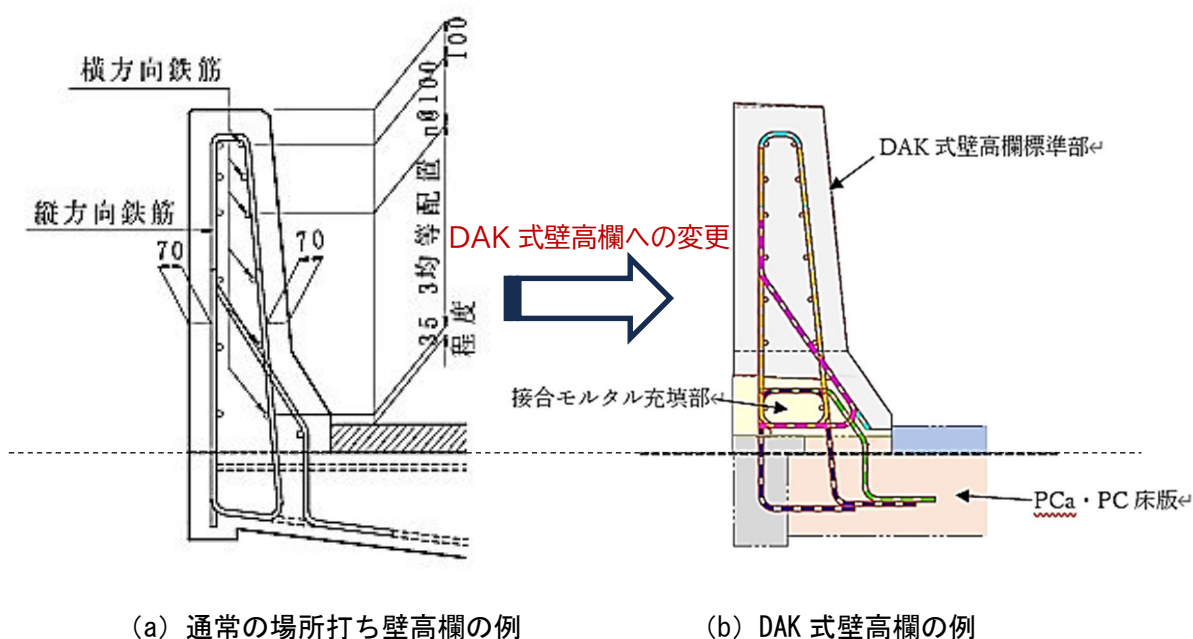


図-10.2.3 床版と剛性壁高欄との鉄筋による接合方法例

DAK 式壁高欄の場合、図-10.2.3 (b) に示すように、床版側に配置されるループ鉄筋は、基本、前面からの衝突荷重や、背面からの風荷重に抵抗する配置構造となっており、鉄筋は、完全に付着の有る鉄筋として床版内に十分な定着長を有し定着され、床版との接合部では、各荷重に対し、引張鉄筋は床版内でずれること無く引張抵抗を担う機能を有する必要がある。

そのため、「拡底アンカー」を用いた場合の床版側に配置されるループ鉄筋の性能においては、基本、床版ループ鉄筋に要求される性能と同程度の性能を有し、床版コンクリート内で衝突荷重等の外荷重に対してずれることなく、確実に定着される機能を有することが望ましいとした。このことにより、DAK 式壁高欄では、「拡底アンカー」を推奨するに至っている^{30)、31)、32)}。

10.2.5 拡底アンカーの構造と配置

拡底アンカーの構造詳細と配置状況を図-10.2.4 及び写真 10.2.1 にそれぞれ示す。

なお、DAK 式壁高欄で推奨する拡底アンカーは、首都高の剛性壁高欄の改修で実績のある「ANZEX-LF 型アンカー」とする^{31)、32)、33)、37)}。

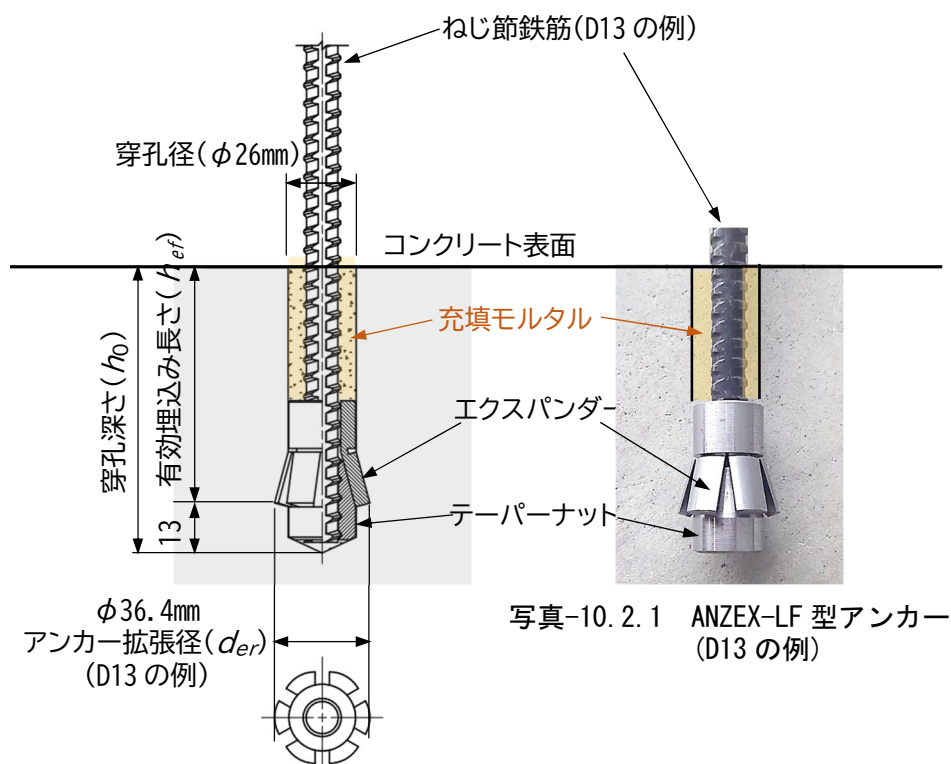


図-10.2.4 ANZEX-LF 型アンカー (D13 の例)

DAK 式壁高欄に適用する拡底アンカーは、図-10.2.2 (b) に示したように、拡底アンカーを配置したねじ節鉄筋をループ鉄筋 1 本もので製作できることが特長で、そのままループ鉄筋として配置可能となっている^{31)、32)、36)、37)}。

10.2.6 拡底アンカーを用いた DAK 式壁高欄の設計方法

拡底アンカーを用いた DAK 式壁高欄の設計方法については、別途、「あと施工アンカー(金属拡底アンカー)の DAK 式プレキャスト壁高欄への適用性と設計方法について」と題して報告書に纏められている³⁶⁾。

ここでは、その設計方法を要約する。

(1) 拡底アンカーの基本的な設計の考え方

DAK 式壁高欄に設計衝突荷重が作用した場合、図-10.2.5 に示すように、DAK 式壁高欄前面の主鉄筋及び前面ハンチ筋となる拡底アンカーがそれぞれ抵抗すると考える。

なお、この場合の部材設計断面は、設計断面②である。

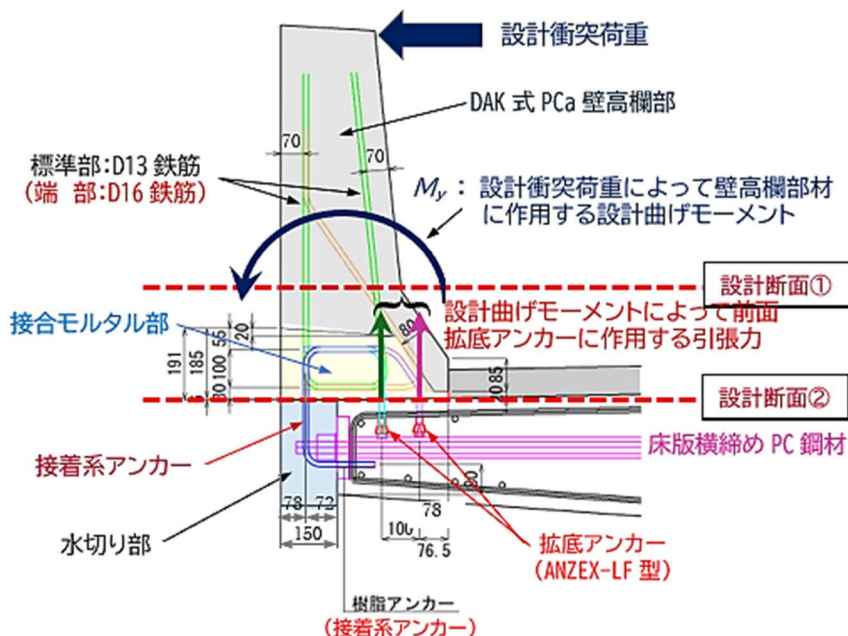


図-10.2.5 設計衝突荷重を受けた場合の拡底アンカーの引張挙動

(2) 拡底アンカーの設計方法

図-10.2.5 に示す挙動に対し、DAK 式壁高欄に拡底アンカーを用いた場合の衝突荷重作用時における拡底アンカーの安全性の照査は、土木学会の照査方法に準じ、式-10.2.1 及び式-10.2.2 に従って照査してよいとしている^{30)、36)、37)}。

$$\gamma_i \frac{S_d}{R_d} \leq 1.0 \quad \dots \dots \dots \text{式-10.2.1}$$

ここに、 γ_i : 影響度係数

S_d : 衝突荷重作用時の拡底アンカー部の設計断面力 (kN)

R_d : 衝突荷重作用時の拡底アンカー部の設計耐力 (kN)

また、拡底アンカーを用いた DAK 式壁高欄の衝突荷重作用時の設計において、式-10.2.1 を適用するに当たり、衝突荷重作用時の限界状態に適用するため、また、PBL 接合の影響を考慮して、以下に示す各係数を考慮している。

- ① k_1 : 衝突荷重作用時における PBL 接合構造に対する断面力への影響係数
- ② k_2 : 衝突荷重作用時におけるコンクリートのコーン状破壊耐力に対する低減係数
- ③ γ_b : 部材係数

上記の各係数を考慮して式-10.2.1を書き換えると、式-10.2.2の関係が得られる。

$$\gamma_i \cdot k_1 \cdot P_s \leq k_2 \cdot 0.31 \cdot \sqrt{F_c} \cdot A_c / \gamma_b \quad \dots \dots \dots \text{式-10.2.2}$$

衝突荷重作用時に拡底アンカーに作用する設計引張力

衝突荷重作用時のコンクリートのコーン状破壊耐力に関する制限値

- ここに、 S_d : 衝突荷重作用時の拡底アンカー部の設計断面力 ($=k_1 \cdot P_s$) (kN) (式-10.2.1より)
 k_1 : 設計断面力に対する PBL 接合部に関する影響係数
 P_s : 衝突荷重作用時に拡底アンカー筋に作用する設計引張力 (kN)
 R_d : 衝突荷重作用時の拡底アンカーの設計耐力 ($=k_2 \cdot P_c / \gamma_b$) (kN) (式-10.2.1より)
 k_2 : 衝突荷重作用時におけるコンクリートのコーン状破壊耐力の低減係数
 P_c : コンクリートのコーン状破壊耐力 ($=0.31 \cdot \sqrt{F_c} \cdot A_c$) (kN) ³³⁾
 F_c : コンクリートの圧縮強度 (設計基準強度) (N/mm²)
 A_c : コンクリートのコーン状破壊面の有効水平投影面積 (mm²)
 γ_b 部材係数

なお、土木学会の「コンクリートライブラリー160」によると、 γ_i の影響度係数について、「バックアップシステムを設けるなどして、あと施工アンカー一部が破壊することによる第三者へ及ぼす影響等を小さくすることができる場合には、 γ_i を1.0としてよい。」となっており、DAK式壁高欄で用いる拡底アンカーは、確実な定着ができることから、衝突荷重作用時では、破壊を生じることなく、安全性は十分確保されるとし、 $\gamma_i=1.0$ を用いている。

また、 $k_1=1.0$ 、 $k_2=2/3$ とした³⁴⁾。そして、部材係数(γ_b)は、既往の研究より、金属拡底アンカーの単独配置に対する群配置による1本当たりのコーン状破壊耐力の低下を考慮して、安全側に $\gamma_b=1.5$ を用いることとした^{35)、37)}。

式-10.2.2にある A_c (コンクリートのコーン状破壊面の有効水平投影面積) は、図-10.2.6に示すように、連行 (ctc125mm) する拡底アンカーの前後・左右の干渉を考慮した最小の有効水平投影面積とする³⁴⁾。

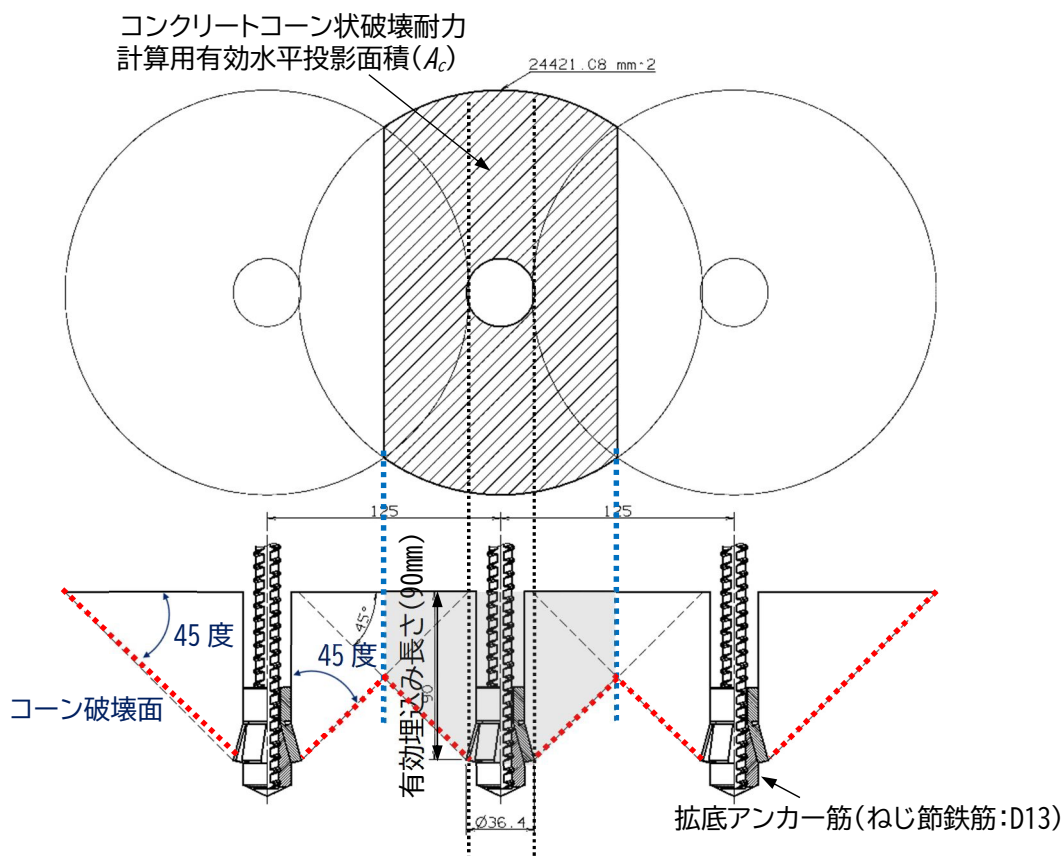


図-10.2.6 拡底アンカーの左右の干渉を考慮した有効水平投影面積の考え方
(拡底アンカーのねじ鉄筋径：D13、有効埋込み長さ：90mm の例)

なお、拡底アンカーを用いた DAK 式壁高欄の具体的な設計方法に関しては、参考文献で示した工法研究会の技術資料としての「あと施工アンカー(金属拡底アンカー)の DAK 式プレキャスト壁高欄への適用性と設計方法について」(2024年3月)³⁶⁾を参考にしてほしい。

10.2.7 拡底アンカーを DAK 式壁高欄に適用した設計例

ここでは、図-10.2.5 に示した DAK 式壁高欄の標準鉄筋配置に伴う前面主鉄筋及び前面ハンチ筋が衝突荷重に抵抗するとして壁高欄標準部(連続部)での設計例を示す。

対象とする前面主鉄筋及び前面ハンチ筋をそれぞれ拡底アンカー筋とした場合のコンクリートのコーン状破壊に対する有効水平投影面積(A_c)の考え方は、図-10.2.6 に示した考え方を踏襲すれば、図-10.2.7 の通りとなる。

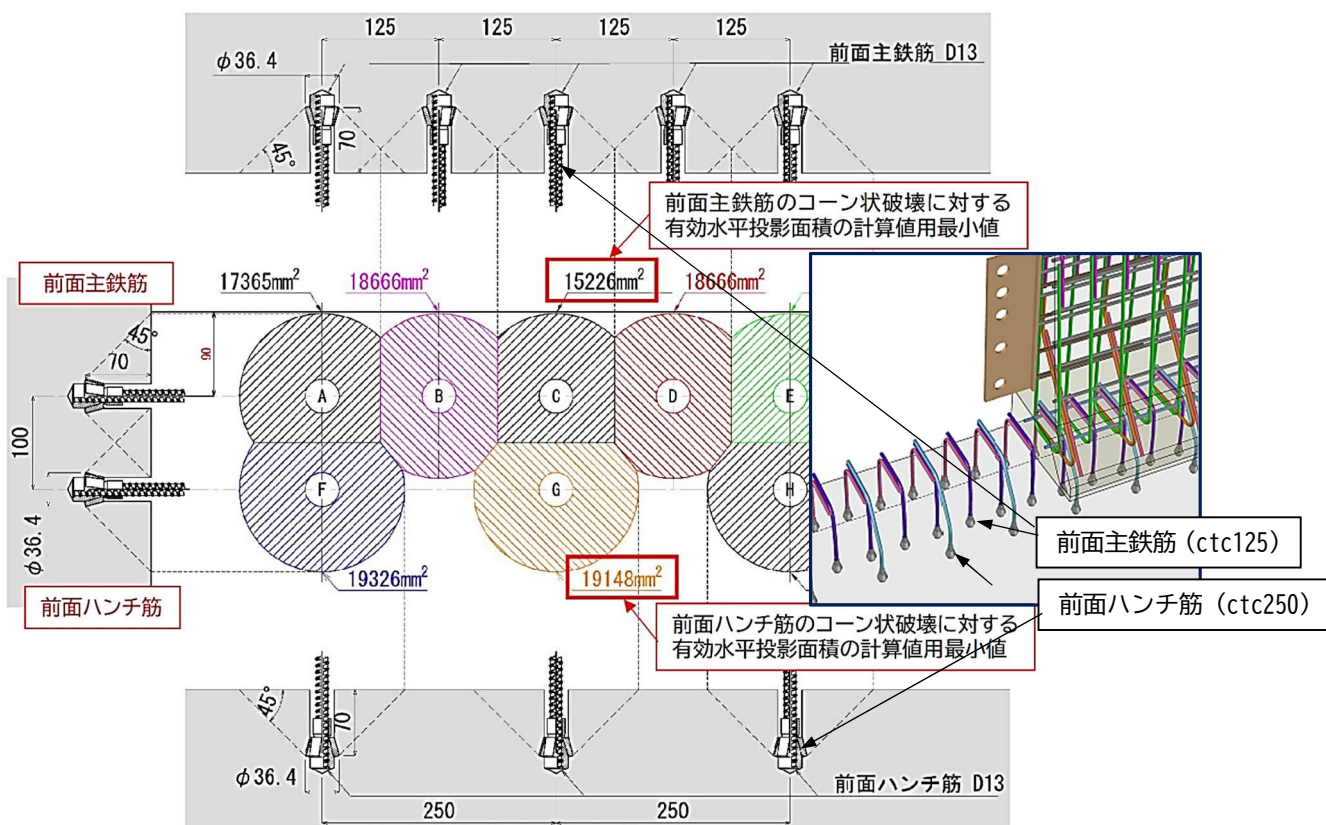


図-10.2.7 衝突荷重作用時の拡底アンカーの有効水平投影面積の計算例

図-10.2.7で計算されたコンクリートのコーン状破壊に対する有効水平投影面積 (A_c) を用い、また、前述の式-10.2.2を用いて床版コンクリートの圧縮強度を 40N/mm^2 と仮定した場合の拡底アンカーの衝突荷重作用時における設計耐力を式-10.2.2より計算すると、表-10.2.1の通りとなる。

表-10.2.1 衝突荷重作用時の壁高欄端部における拡底アンカー筋1本の設計耐力

コンクリート床版の設計基準強度 σ_{ck} (N/mm^2)	対象鉄筋	有効埋込み長さ h_{ef} (mm)	低減係数	鉄筋径 (mm)	有効水平投影面積 A_c (mm^2)	部材係数 γ_b	拡底アンカーの設計耐力 R_d (kN)
40.0	前面主鉄筋 (ctc125mm)	70	2/3	13	15,226	1.5	13.27
		90	2/3	13	17,940	1.5	15.63
		110	2/3	13	20,576	1.5	17.93
		130	2/3	13	23,170	1.5	20.19
	前面ハンチ筋 (ctc250mm)	70	2/3	13	19,148	1.5	16.69
		90	2/3	13	25,562	1.5	22.27
		110	2/3	13	32,274	1.5	28.12
		130	2/3	13	37,318	1.5	32.52
		150	2/3	13	41,844	1.5	36.46

注) コーン状破壊に対する有効水平投影面積については、隣り合う拡底アンカーの影響を考慮して、最小値を採用する。

表-10.2.1の結果から、標準部（連続部）における部材設計による衝突荷重作用時の鉄筋の引張力の関係を用い、拡底アンカーの必要有効埋込長さを計算すると、図-10.2.8の関係を得る。

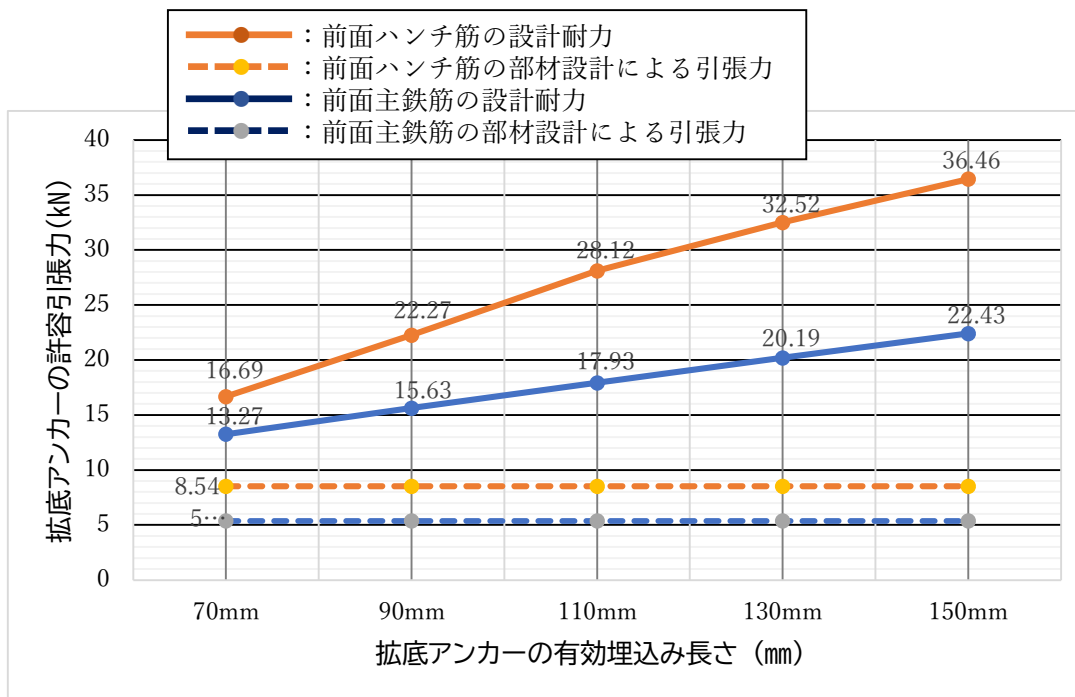


図-10.2.8 標準部拡底アンカーの設計耐力と有効埋込み長さの関係

図-10.2.8の関係から分かるように、拡底アンカーが配置されたコンクリート床版の設計基準強度が40N/mm²の場合では、設計衝突荷重に対して拡底アンカーの有効埋込み長さが70mmでも、部材設計から計算される鉄筋の引張応力度に対して十分安全側であることが分かる。

この結果より、標準部（連続部）での配置上の拡底アンカーの有効埋込み長さを纏めると、表-10.2.2の通りとなる。

表-10.2.2 前面主鉄筋及び前面ハンチ筋に関する拡底アンカーの必要有効埋込み長さ

壁高欄の配置位置	床版コンクリート強度 (N/mm ²)	配置鉄筋の種類	設計より決まる必要有効埋込み長さ (mm)	構造細目より決まる必要有効埋込み長さ (mm)	有効埋込み長さの配置上の最小値 (mm)
標準部	40.0 (仮定強度)	前面主鉄筋	70以上	70以上	70
		前面ハンチ筋	70以上		70

但し、拡底アンカーの配置に関しては、構造細目も定められているため、設計上の有効埋込み長さとして構造細目等も考慮して配置上の有効埋込み長さを決定することが望ましい。

【参考文献】

本文中に参考にした文献等は、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) 藤原 了、北川陽介、蝦名貴之、藤原浩己：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
- 3) 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、pp.47～52、4月号、2021年4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、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) 設計要領第二集 [橋梁保全編] 7章 付属物 5-5 プレキャスト壁高欄：設計要領 第二集 橋梁保全編、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、令和6年7月
- 6) 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
- 7) DAK 式プレキャスト壁高欄の PBL 配置位置変更に伴う安全性照査、DAK 式プレキャスト壁高欄工法研究会技術資料、2021年4月
- 8) NEXCO 剛性防護柵（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」、DAK 式プレキャスト壁高欄工法研究会技術資料、2020年6月
- 9) 車両用防護柵標準仕様・同解説、(社) 日本道路協会、平成16年3月
- 10) 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、(財) 土木研究センター平成10年6月
- 11) 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
- 12) 鋼道路橋設計便覧、(社) 日本道路協会、令和2年9月
- 13) プレキャストコンクリートを用いた構造物の構造計画・設計・製造・施工・維持管理指針(案)、コンクリートライブラリー158、土木学会、2021年1月
- 14) DAK 式プレキャスト壁高欄の斜角及び平面線形を有する橋梁へのループ鉄筋配置に関する基本方針、DAK 式プレキャスト壁高欄工法研究会技術資料、2022年5月
- 15) コンクリート標準示方書【設計編：標準】[2編：耐久設計および耐久性に関する照査]、[4編：使用性に関する照査]、土木学会、2017年

- 16) 壁高欄の塩害に対する耐久性照査方法(案)、中日本高速道路株式会社(平成29年4月)
- 17) 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112、土木学会、2003年11月
- 18) 上平謙二、蝦名貴之、西本英生、岩波光保:プレキャスト壁高欄の塩害に対する耐久性、「橋梁と基礎」、Vol.60、pp.39~45、1月号、2026年1月
- 19) NEXCO 試験方法、第4編 構造関係試験方法: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、令和5年10月
- 20) DAK 式プレキャスト壁高欄 衝突安全性 3次元 FEM 解析結果 報告書「抜粋」:DAK 式プレキャスト壁高欄工法研究会、令和元年7月
- 21) DAK 式プレキャスト壁高欄の衝突安全性確認「報告書」、DAK 式プレキャスト壁高欄工法研究会技術資料、2018年(平成30年)6月
- 22) 【コンクリート施工管理要領】7 検査 7-3 出来形基準:コンクリート施工管理要領、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、令和6年4月
- 23) 「アクアシール 1400H」工場施工要領書、DAK 式プレキャスト壁高欄工法研究会技術資料、2025年7月更新
- 24) DAK 式プレキャスト壁高欄の接合モルタルの乾燥収縮がコンクリート部材の拘束に及ぼす影響評価について「解析検討報告書」、DAK 式プレキャスト壁高欄工法研究会技術資料、2025年(令和7年)3月
- 25) 上平謙二、蝦名貴之、西本英生、冨田耕司、岩波光保:ループ鉄筋継手を用いたプレキャスト壁高欄の接合モルタルの乾燥収縮がコンクリート部材の拘束に及ぼす影響評価、「橋梁と基礎」、Vol.59、pp.43~48、7月号、2025年7月
- 26) 生モルタル供給システム:カタログ、(株)トクヤマエムテック
- 27) 山口岳思、北村 元、大嶋秀明、篠崎英二、長谷川 剛、吉満龍彦: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
- 28) 「リペアメント NS TYPE II」を用いた接合モルタル充填施工の手引き、DAK 式プレキャスト壁高欄工法研究会技術資料、2024年1月
- 29) 西田宏司:あと施工アンカーの性能確認のための実験的研究、土木学会第70回年次学術講演会、V-186、pp.371-372、平成27年9月
- 30) コンクリートのあと施工アンカー工法の設計・施工・維持管理指針(案):コンクリートライブラリー160、土木学会、令和4年3月

- 31) 石原陽介、柿木啓、牧剛史、鈴木優佑：更新用プレキャストコンクリート壁高欄継手部に
関する実験的考察、土木学会第 72 回年次学術講演会、V-304、2017.9
- 32) 石原陽介、引地宏陽、睦好宏史、牧 剛史：更新用プレキャスト壁高欄の衝突実験結果分
析、土木学会第 75 回年次学術講演会、V-237、2020.9
- 33) 金属拡底アンカーシステム 「ANZEX LF アンカー」：カタログ、(株) ミヤナガ
- 34) 各種合成構造設計指針（案）・同解説、日本建築学会、2010.
- 35) 鉄道総合技術研究所：あと施工アンカーの設計・施工の手引き、2018.1
- 36) あと施工アンカー（金属拡底アンカー）の DAK 式プレキャスト壁高欄への適用性と設
計方法について、DAK 式プレキャスト壁高欄工法研究会技術資料、2024 年 3 月
- 37) 石原陽介、牧 剛史、田嶋仁志、上平謙二、上山俊一、睦好宏史：既設 RC 床版を活用
した更新用プレキャストコンクリート壁高欄の接合構造に関する研究、土木学会論文
集、Vol.81、No.5、24-00195、2025 年 5 月

以 上

【問合せ窓口】

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 : <https://dak-pc.org>

※無断転載・複製を禁ずる。

