

# DAK 式プレキャスト壁高欄 「設計・施工ガイドライン」



平成 29 年 3 月

DAK 式プレキャスト壁高欄  
工法研究会

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

March 2017

DAK-style Precast Concrete Fence

Technical society of construction method

## まえがき

本設計・施工ガイドラインは、DAK 式プレキャスト壁高欄工法研究会の技術委員会内に設置された「設計・施工ガイドライン作成 WG」により、平成 28 年 8 月より平成 29 年 3 月の 8 ヶ月に渡る活動の成果を取りまとめたものである。

DAK 式プレキャスト壁高欄工法研究会は、PC 專業者 6 社を含めた 11 社からなる研究会で、平成 27 年 12 月に設立された。また、技術顧問として、埼玉大学・建設工学科の睦好宏史教授を迎えている。

DAK 式プレキャスト壁高欄の実績は、現時点では、東日本高速道路（株）での新設橋における工期短縮策に、中日本高速道路（株）及び西日本高速道路（株）での床版取替工事における工期短縮策に採用された数橋に留まっている。しかしながら、今後の普及を期待し、先ず、高速道路橋の老朽化した、また、交通疲労によって劣化したコンクリート床版の取替工事の増加を見据えた。

ここでは、東日本・中日本・西日本高速道路（株）（以下、NEXCO という）での採用を基本とし、この DAK 式プレキャスト壁高欄の設計・施工に関するガイドラインを取り纏めることとした。そのため、本設計・施工ガイドラインの作成にあたっては、今後の壁高欄に向けての要求性能を盛り込むため、NEXCO 各社の技術者と種々意見交換させていただいた。

第 1 章では、DAK 式プレキャスト壁高欄の特徴を明確にするとともに、全国的な採用を期するため、寒冷地での融雪剤による遮塩性に対する耐久性の表記を明確にし、過去の場所打ち壁高欄の塩分調査を基に、「コンクリート標準示方書〔設計編：標準〕」（土木学会 2012 年制定）のコンクリートの塩化物イオン拡散係数の設定法に基づき、また、一方では、FEM 解析による塩分浸透解析を行い、遮塩性に対する具体的な耐久性の評価を行っている。なお、本文中には、その評価の纏めを掲載し、具体的な検討内容については、巻末の参考資料「1. 耐久性評価の具体検討例」に纏めた。更に、使用材料の要求性能を明確にするともに、適用の範囲も明確にしている。

第 2 章では、DAK 式プレキャスト壁高欄の設計方法を明確にし、特にプレキャスト PC 床版や場所打ち PC 床版との接合方法の種類や構造を紹介するとともに、プレキャスト壁高欄に必要な床版との接合方法、また、プレキャスト壁高欄同士の接合方法について、それらの設計方法を取りまとめている。特に、橋軸方向のプレキャスト壁高欄同士の接合に孔明き鋼板ジベル（PBL）を採用しているが、その設計思想を明確にし、分かり易く解説している。なお、本文中には、設計の基本のみ記述し、解析を含めた設計の詳細検討内容については、巻末の参考資料「2. 壁高欄（SB 種）同士の接合部の標準設計例」、「3. PBL 孔のモルタルのせん断耐力の評価方法」、及び「4. DAK 式プレキャスト壁高欄と各種床版との接合例」に纏めた。

第 3 章では、DAK 式プレキャスト壁高欄に特化した製作方法、つまり、型枠の製作、鉄筋の組立てや配置方法、付属物の取付け方法、面取り方法、高炉スラグ微粉末混入コンクリ

ートの品質及び配合、コンクリートの打込み及び養生方法、プレキャスト壁高欄の接合面の処理方法、仮置き及び保管方法、露出鋼材部の防錆方法、出来形管理方法、運搬及び搬出まで、詳細に説明している。

第4章では、DAK式プレキャスト壁高欄そのものの施工方法に特化し、準備工、壁高欄の建込み方法、壁高欄の高さ調整及び仮固定方法、床版とDAK式プレキャスト壁高欄の間詰め部の型枠設置方法、間詰めに充填する高耐久間詰めモルタルの試験練りや充填方法、養生方法、脱型まで、詳細に説明している。

第5章では、標準施工概略工程を纏めており、橋長150mの床版取替工事を対象に、DAK式プレキャスト壁高欄と場所打ち壁高欄の標準施工工程の比較を行うとともに、更に、それぞれ、昼間作業と昼夜間作業での標準工程と必要人工数の相対比較を行っている。

第6章では、床版とプレキャスト壁高欄との接合方法に関し、例えば、プレキャストPC床版の嵩上げ方法や形状、また、プレキャスト壁高欄下端の形状等、標準化に向けた今後の課題を中心に纏めている。

巻末には、「参考資料」として、遮塩性に対する耐久性評価方法の具体検討例、設計例、床版とDAK式プレキャスト壁高欄の接合部の構造例、DAK式プレキャスト壁高欄接合部の安全性について、それぞれ詳細に纏め、その他Q&A及び関連論文まで纏めた。

このように、少ない実績の中ではあるが、将来展望も含め、初版となる「DAK式プレキャスト壁高欄の設計・施工ガイドライン」が完成した。今後の老朽化した社会インフラの改修等の計画に十分資する内容になっていると思われる。是非、今後の工程短縮策や耐久性向上策の一つの方法として検討頂ければ幸いである。

なお、DAK式プレキャスト壁高欄のDAKの名称について、これは、特許出願人及び発明者の頭文字を組み合わせ、呼びやすい名称としたものであるが、通常、技術的観点から、**D**urability **a**dded **K**eyed joint システム（耐久性を付与したほぞ式接合又はジベル接合の意味）の「DAK」として呼称いただければ幸いである。

最後に、本ガイドラインを纏めるに当たって、積極的に助言を頂いた当研究会技術顧問である睦好教授に感謝申し上げます。また、意見交換させていただいたNEXCO各社の技術者の皆様並びに本ガイドラインを執筆頂いた会員各社の皆様に感謝申し上げます。

平成29年3月

DAK式プレキャスト壁高欄 工法研究会  
設計・施工ガイドライン作成WG  
委員長 上平 謙二

# DAK式プレキャスト壁高欄 工法研究会

## 名 簿 (敬称略・順不同)

特別会員	株式会社 デイ・シイ
〃	開発虎ノ門コンサルタント株式会社
〃	江波工業株式会社
〃	ドーピー建設工業株式会社
正会員	オリエンタル白石株式会社
〃	株式会社 安部日鋼工業
〃	株式会社 富士ピー・エス
〃	昭和コンクリート工業株式会社
〃	川田建設株式会社
準正会員	デイシイ販売株式会社
〃	株式会社 ノナガセ
技術顧問	埼玉大学 建設工学科 教授 睦好 宏史



# DAK式プレキャスト壁高欄 工法研究会

## 技術委員会 名簿 (敬称略・五十音順)

委員長	白鳥 愛介	開発虎ノ門コンサルタント株式会社
委員	妹川 寿秀	株式会社 富士ピー・エス
〃	蝦名 貴之	株式会社 デイ・シイ
〃	大岡 昭雄	ドーピー建設工業株式会社
〃	大村 一馬	株式会社 安部日鋼工業
〃	北川 陽介	デイシイ販売株式会社
〃	肥塚 秀明	ドーピー建設工業株式会社
〃	齋藤 幸治	オリエンタル白石株式会社
〃	鈴木 健吾	株式会社 ノナガセ
〃	田村 辰也	江波工業株式会社
〃	中山 良直	川田建設株式会社
〃	藤原 了	株式会社 デイ・シイ
〃	別府 敏夫	開発虎ノ門コンサルタント株式会社
〃	吉田 辰也	昭和コンクリート工業株式会社

## オブザーバー (敬称略・順不同)

	上平 謙二	株式会社 デイ・シイ
	山下 幹夫	開発虎ノ門コンサルタント株式会社





# DAK式プレキャスト壁高欄 設計・施工ガイドライン作成WG

## WG名簿 (敬称略・五十音順)

委員長	上平 謙二	株式会社 デイ・シイ
副委員長	白鳥 愛介	開発虎ノ門コンサルタント株式会社
委員	妹川 寿秀	株式会社 富士ピー・エス
〃	蝦名 貴之	株式会社 デイ・シイ
〃	大岡 昭雄	ドーピー建設工業株式会社
〃	大村 一馬	株式会社 安部日鋼工業
〃	北川 陽介	デイシイ販売株式会社
〃	肥塚 秀明	ドーピー建設工業株式会社
〃	齋藤 幸治	オリエンタル白石株式会社
〃	鈴木 健吾	株式会社 ノナガセ
〃	田村 辰也	江波工業株式会社
〃	中山 良直	川田建設株式会社
〃	藤原 了	株式会社 デイ・シイ
〃	別府 敏夫	開発虎ノ門コンサルタント株式会社
〃	山下 幹夫	開発虎ノ門コンサルタント株式会社
〃	吉田 辰也	昭和コンクリート工業株式会社

## オブザーバー (敬称略)

睦好 宏史 埼玉大学 建設工学科 教授



## 目 次

第1章 DAK 式プレキャスト壁高欄システムの特徴	1
1.1 構造の特徴	1
1.2 耐久性	2
1.2.1 耐久性の考え方	2
1.2.2 耐久性の評価方法	2
1.2.3 耐久性の評価	5
1.3 使用材料の要求性能	8
1.3.1 DAK 式プレキャスト壁高欄	8
1.3.2 高耐久間詰めモルタル	8
1.4 適用の範囲	9
第2章 設 計	10
2.1 設計の基本方針	10
2.2 設計に用いる材料の物理定数	10
2.2.1 概 要	10
2.2.2 DAK 式プレキャスト壁高欄コンクリート	10
2.2.3 鋼 材	10
2.2.4 高耐久間詰めモルタル	11
2.3 作用荷重と設計方法	11
2.3.1 壁高欄に作用する荷重	11
2.3.2 設計照査断面位置	12
2.3.3 設計方法	13
2.3.4 プレキャスト製作部材断面設定の配慮事項	14
2.4 床版と壁高欄接合部の構造	14
2.4.1 床版と壁高欄の接合構造の基本	14
2.4.2 接合部のループ鉄筋継手の配置例	15
2.4.3 構造細目	17
2.5 壁高欄の橋軸方向接合部の構造と設計方法	18
2.5.1 橋軸方向の接合部の構造	18
2.5.2 橋軸方向接合部の照査法と標準設計例	19
2.5.3 PBL の接合構造諸元	19
2.5.4 PBL 孔モルタルジベルのせん断耐力の照査	22
2.5.5 構造細目	24
2.5.6 その他の留意点	25

2.6	プレキャストブロックの割り付け	25
2.6.1	ブロック長	25
2.6.2	橋梁支点上及び端部の割付け方法	26
2.6.3	場所打ち部を有する割付け方法	26
<b>第3章</b>	<b>製作</b>	<b>27</b>
3.1	型枠の製作	27
3.1.1	型枠の計画	27
3.1.2	隅角部の面取り	28
3.2	鉄筋と型枠の組立て	28
3.2.1	鉄筋ユニットの組立て	28
3.2.2	配筋の許容誤差	29
3.2.3	付属物の取付け	29
3.2.4	型枠の組立て	29
3.3	コンクリートの品質と配合	30
3.3.1	品質	30
3.3.2	示方配合	30
3.4	コンクリートの打込み及び養生	31
3.4.1	コンクリートの打込み	31
3.4.2	コンクリートの養生	31
3.5	製品の取出し及び接合面の処理	31
3.5.1	製品の取出し	31
3.5.2	小口面及び打継ぎ面の処理	31
3.6	仮置き保管	32
3.6.1	仮置き保管	32
3.6.2	露出鋼材の防錆	32
3.7	出来形管理	32
3.8	運搬、搬出	32
<b>第4章</b>	<b>施工</b>	<b>34</b>
4.1	準備工	34
4.1.1	現地の確認	34
4.1.2	プレキャスト壁高欄の搬入計画	34
4.2	プレキャスト壁高欄の荷卸し及び建込み	34
4.2.1	プレキャスト壁高欄の荷卸し	34
4.2.2	プレキャスト壁高欄の建込み	35

4.2.3	高さ調整及び仮固定	36
4.3	間詰めモルタルの使用材料及び試験練り	37
4.3.1	使用材料	37
4.3.2	試験練り	37
4.4	間詰め部の型枠設置	38
4.5	モルタル材の仮置き及び本練り	38
4.5.1	モルタル材の仮置き	38
4.5.2	本練り	39
4.6	モルタル材の充填	39
4.6.1	モルタル材を圧注する方法	39
4.6.2	モルタル材を流下する方法	40
4.7	養生	40
<b>第5章</b>	<b>標準施工工程</b>	<b>41</b>
5.1	標準施工工程算出方法	41
5.2	DAK式プレキャスト壁高欄の標準施工工程	41
5.2.1	算出条件	41
5.2.2	昼間作業の場合	42
5.2.3	昼夜間作業の場合	42
5.3	場所打ち壁高欄の標準施工工程	43
5.3.1	算出条件	43
5.3.2	昼間作業の場合	43
5.3.3	昼夜間作業の場合	44
5.4	DAK式プレキャスト壁高欄と場所打ち壁高欄の概略工程相対比較	44
5.5	まとめ	45
<b>第6章</b>	<b>今後の課題</b>	<b>46</b>
<b>参考資料</b>		<b>49</b>
1.	耐久性評価の具体検討例	51
2.	壁高欄（SB種）同士の接合部の標準設計例	63
3.	PBL孔のモルタルのせん断耐力の評価方法	70
4.	DAK式プレキャスト壁高欄と各種床版との接合例	74
5.	DAK式プレキャスト壁高欄接合部の安全性に関する検討	78
6.	Q&A	85
7.	DAK式壁高欄に関する論文	91



## 第1章 DAK式プレキャスト壁高欄システムの特徴

### 1.1 構造の特徴

DAK式プレキャスト壁高欄システムとは、高耐久で、高速施工を実現できる新たなプレキャスト壁高欄システムであり、これまでにない新技術を取り入れたパッケージシステムである。

DAK式プレキャスト壁高欄の特徴は、以下のとおりである。

①プレキャスト壁高欄とコンクリート床版との接合は、**図-1.1.1**に示すように、高さ調整や施工誤差の吸収が容易にできるループ鉄筋継手を採用している。床版に配置されたループ鉄筋の間に、プレキャスト壁高欄に配置されたループ鉄筋を落とし込む構造となっている。また、この接合部には、高耐久な間詰めモルタルが充填され、これによって、床版と壁高欄が一体化され、橋軸方向に壁高欄が連続体構造となっているようにしている。

②壁高欄同士の橋軸方向の接合は、**図-1.1.2**に示すように、接合部が狭小部にあるため、橋軸方向に連続的な構造を発揮でき、衝突荷重による橋軸方向の引張力にも抵抗できるよう、孔あき鋼板ジベル（以下、PBLという）による接合構造としている。図から分かるように、PBL側のPBLを溝側の縞鋼板を逆台形型に加工して配置したスリーブに差し込み、その接合部に高耐久間詰めモルタル（商品名：リペアメントNS）を充填して一体化している（本接合構造については、「**第2章 設計**」で詳述している）。したがって、施工時の建込みでは、設置されたプレキャスト壁高欄に、上から落とし込むだけの施工となるため、施工の省力化が図れる。

③これらの床版及び壁高欄同士の接合部を有する壁高欄全体のシステムを「DAK式プレキャスト壁高欄システム」という。

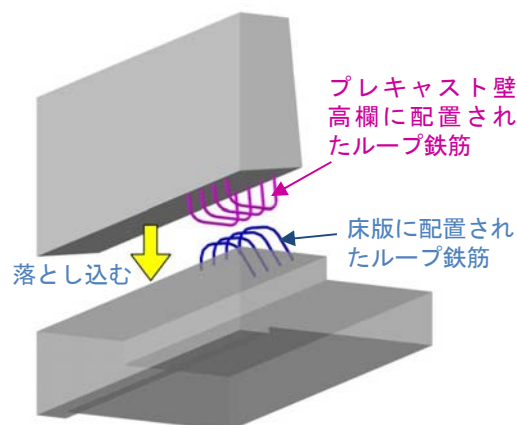


図-1.1.1 床版との接合方法

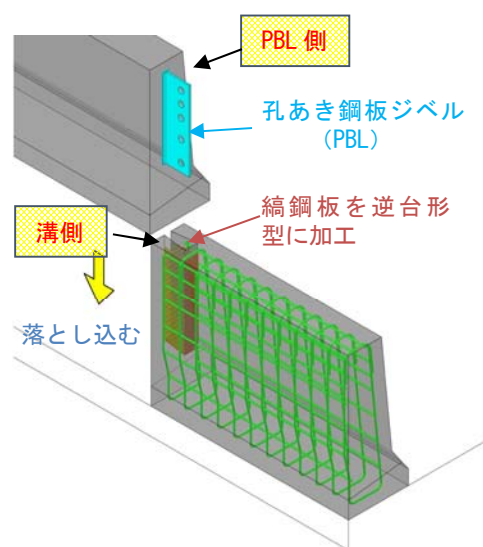


図-1.1.2 壁高欄同士の接合方法

## 1.2 耐久性

### 1.2.1 耐久性の考え方

ここでいう耐久性とは、DAK 式プレキャスト壁高欄システムの全国での採用を期するため、冬季の融雪剤による塩害に対する遮塩性能に対する耐久性とし、プレキャスト壁高欄本体と高耐久間詰めモルタルについて、それぞれの耐久性を評価し、また、既存の場所打ち壁高欄の耐久性と比較したものである。

DAK 式プレキャスト壁高欄システムとしての性能については、「1.3 性能規定」を参照することとするが、DAK 式プレキャスト壁高欄は、早強ポルトランドセメントをベースに、塩害に有効とされる高炉スラグ微粉末（比表面積 4000 以上）を 30%以上置換しており、一方、高耐久間詰めモルタル（商品名：リペアメント NS）は、プレキャスト壁高欄と同等あるいはそれ以上の遮塩性を発揮できるよう、こちらも高炉スラグ微粉末を混合している。

DAK 式プレキャスト壁高欄システムの遮塩性に対する耐久性評価では、予め JSCE-G572「浸せき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（案）」に準じて、Cl 濃度分布曲線から、Fick の第 1 法則が成り立つという仮定より、Fick の第 2 法則に基づいた拡散方程式を用いて評価しており、ここで得られた DAK 式プレキャスト壁高欄と高耐久間詰めモルタルのそれぞれの見掛けの拡散係数が基本となっている。

ただし、場所打ち壁高欄の遮塩性の評価に用いた見掛けの拡散係数は、土木学会で 2012 年に制定した「コンクリート標準示方書 [設計編：標準] 2.1.4.2 コンクリートの塩化物イオン拡散係数の設定」の方法に準じた。

### 1.2.2 耐久性の評価方法

耐久性の具体的な評価方法については、巻末の参考資料「1. 耐久性評価の具体検討例」に詳細に述べているので、こちらを参照されたい。

耐久性を評価するための基本的な塩分浸透履歴は、前述した DAK 式プレキャスト壁高欄と高耐久間詰めモルタルの EPMA 法による試験結果が基本となっている。

DAK 式プレキャスト壁高欄は、早強ポルトランドセメントをベースに、塩害に有効とされる高炉スラグ微粉末（比表面積 4000 以上）を 30%以上置換し、設計基準強度 ( $\sigma_{ck}$ ) を  $40\text{N/mm}^2$  以上としている。表-1.2.1 にその配合例の概要を示す。この場合、高炉スラグ微粉末の混入率は 30%で、水セメント比は 40%である。

表-1.2.1 DAK 式プレキャスト壁高欄の示方配合例

粗骨材 の 最大寸法 (mm)	スランプ の 範囲 (cm)	空気量 の 範囲 (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )					
			水 W (kg)	セメント C (kg)	細骨材 S (kg)	粗骨材 G (kg)	高性能 減水剤 SP (kg)	高炉スラグ BF (kg)
20	15±2.5	4.5±1.5	150	263	835	968	1.88	113



耐久性の評価は、図-1.2.1の検討フローによった。

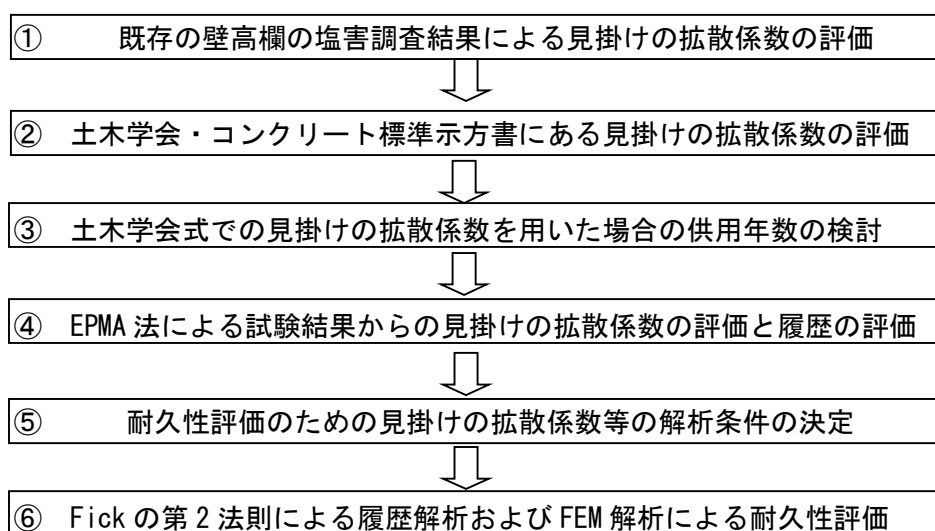


図-1.2.1 耐久性評価の検討過程

ここでは、検討フローの中の主な結果についてまとめる。

DAK式プレキャスト壁高欄システムにおける塩分浸漬試験は、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(案)」にしたがい実施した。その結果、プレキャスト壁高欄の見掛けの拡散係数の平均値が、182日間の浸漬結果で  $D_{ap}=0.534\text{cm}^2/\text{年}$  となり、一方、高耐久間詰めモルタルでは、371日間の浸漬結果で  $D_{ap}=0.281\text{cm}^2/\text{年}$  となった。

NEXCO管内で、過去に塩害劣化した場所打ち壁高欄の塩分浸透履歴を調査した3橋の実測結果を表-1.2.2に示す。

表-1.2.2 塩害劣化した場所打ち壁高欄の塩分調査結果

橋梁名	供用年 (年)	供用期間 (年)	平均塩化物イオン濃度 (kg/m <sup>3</sup> ) 【測定値】				
			0-20 (mm)	20-40 (mm)	40-60 (mm)	60-80 (mm)	80-100 (mm)
A-橋	1985	25	5.564	6.327	2.743	1.098	0.672
B-橋	1993	16	5.205	6.225	3.892	1.646	----
C-橋	1974	35	6.187	5.812	3.217	2.285	----

以上の結果から、Fickの第2法則を用い、表-1.2.2の実測値からフィッティング曲線を描くと、図-1.2.2のとおりとなる。この計算結果から、コンクリート表面の全塩化物イオン濃度、見掛けの拡散係数及び初期全塩化物イオン濃度は、それぞれ表-1.2.3のとおりとなる。

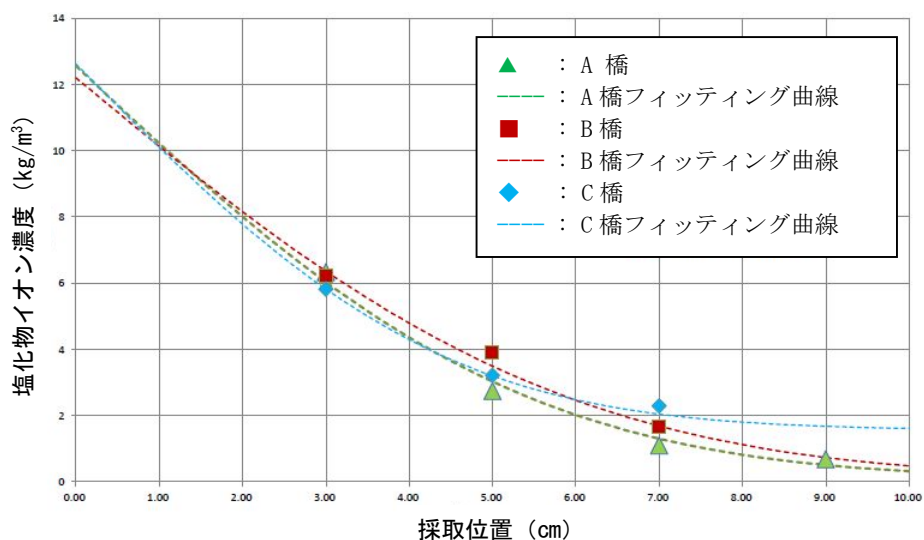


図-1.2.2 実測値と Fick の第 2 法則を用いたフィッティング曲線の関係

表-1.2.3 各橋梁のコンクリート表面の全塩化物イオン量、見掛けの拡散係数及び初期全塩化物イオン量の計算結果一覧

橋梁名	時間 (着目年) $t$ (年)	コンクリート表面の全塩化物イオン濃度 $C_{s0}$ (kg/m <sup>3</sup> )	見掛けの拡散係数 $D_{ap}$ (cm <sup>2</sup> /年)	初期全塩化物イオン量 $C_i$ (kg/m <sup>3</sup> )
A 橋	25	12.46	0.354	0.10
B 橋	16	12.10	0.670	0.10
C 橋	35	11.05	0.170	1.57

表-1.2.3 の結果を基に、各橋梁の見掛けの拡散係数と経過時間 (年) との関係から、フィッティング曲線を求めている。詳細は、参考資料「1. 耐久性評価の具体検討例」を参照。

これらの見掛けの拡散係数と経過時間 (年) に関する相関性について、以下の参考文献によると、経過時間 (年) の増加に伴って、見掛けの拡散係数の値が相対的に小さくなる傾向を示しており、今回の 3 橋の表-1.2.3 の各橋梁の実測値から得られた拡散係数と経過時間 (年) の関係も同様な傾向にあるため、この傾向は、妥当であると評価できる。

参考文献 1) 川村満紀他、「現場技術者のための塩害対策ノート」中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋 (株)  
2) 和泉意登志、「コンクリートの劣化と補修がわかる本 Plus」セントジャーナル社、2010 年 6 月

その後、場所打ち壁高欄に対し、コンクリート標準示方書 (土木学会) に準じた見掛けの拡散係数の評価、同じく、コンクリート標準示方書 (土木学会) に準じた見掛けの拡散係数を用いた場合の経過時間 (年) の検討、及びその経過時間 (年) に対する DAK 式プレキャスト壁高欄と高耐久間詰めモルタルの見掛けの拡散係数の評価をそれぞれ行った。

その結果、コンクリート標準示方書 (土木学会) に規定されている見掛けの拡散係数は、 $D_k=0.501\text{cm}^2/\text{年}$  となり、既存の壁高欄の見掛けの拡散係数のフィッティング曲線から、経

過時間（年）は、ほぼ20年と想定された。したがって、この結果は、コンクリート部材が20年間塩害にさらされたときの見掛けの拡散係数であると評価した。

結果、経過年数（年）20年に相当する場所打ち壁高欄、DAK式プレキャスト壁高及び高耐久間詰めモルタルの各見掛けの拡散係数を整理すると表-1.2.4のとおりとなる。

なお、DAK式プレキャスト壁高欄は、プレキャスト部材を現場で設置することから、基本的にひび割れの影響を無視できる。したがって、見掛けの拡散係数については、ひび割れの影響を考慮していない。同様に、場所打ち壁高欄についても、ひび割れを考慮しない同条件として、見掛けの拡散係数を評価した。

表-1.2.4 経過年数（年）20年に相当する各材料の見掛けの拡散係数

	場所打ち壁高欄	DAK式プレキャスト壁高欄	高耐久間詰めモルタル
経過年数（年）	20	20	20
見掛けの拡散係数（ $\text{cm}^2/\text{年}$ ）	0.501	0.131	0.071

ここで、コンクリート標準示方書（土木学会）に準じた各材料の鋼材腐食発生限界濃度を算出し、耐久性の評価に用いる解析条件を整理した。それらを表-1.2.5に示す。

表-1.2.5 耐久性評価のための解析条件

壁高欄の種類	①コンクリート表面の全塩化物イオン濃度 ( $C_{ao}$ ) ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	②見掛けの拡散係数 ( $D_{ap}$ ) ( $\text{cm}^2/\text{年}$ )	③初期全塩化物イオン濃度 ( $C_i$ ) ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )	④鋼材腐食発生限界濃度 ( $C_{lim}$ ) ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )
DAK式プレキャスト壁高欄	13.0	0.131	0.1	1.72
既存の場所打ち壁高欄	13.0	0.501	0.1	1.90

なお、コンクリート表面の全塩化物イオン濃度については、図-1.2.2に示す既存の場所打ち壁高欄の塩分浸透履歴も参考にして、塩害で最も厳しいと想定される  $13.0\text{kg}/\text{m}^3$  の条件とした。

### 1.2.3 耐久性の評価

表-1.2.5に示す解析条件を基に、DAK式プレキャスト壁高欄、および既存の場所打ち壁高欄の耐久性について、見掛けの拡散係数一定の条件下において、Fickの第2法則に則った浸透履歴の計算とFEM解析を行った。それらの結果を図-1.2.3及び図-1.2.4にそれぞれ示す。なお、耐久性の評価については、壁高欄の主鉄筋までのコンクリートかぶりを変化させ、70mm、50mm及び30mmの3ケースについて解析した。

図-1.2.3は、DAK式プレキャスト壁高欄の場合のかぶり70mm、50mm及び30mmの場合の耐久性の評価を示し、図-1.2.4は、場所打ち壁高欄の場合のかぶり70mm、50mm及び30mmの場合の耐久性の評価を示す。

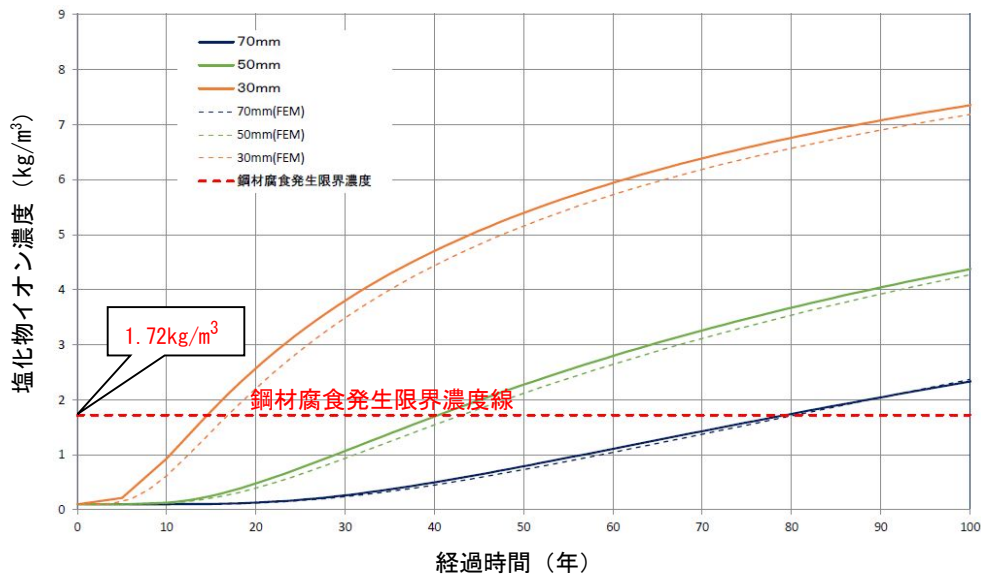


図-1.2.3 DAK式プレキャスト壁高欄のコンクリートかぶり別耐久性評価

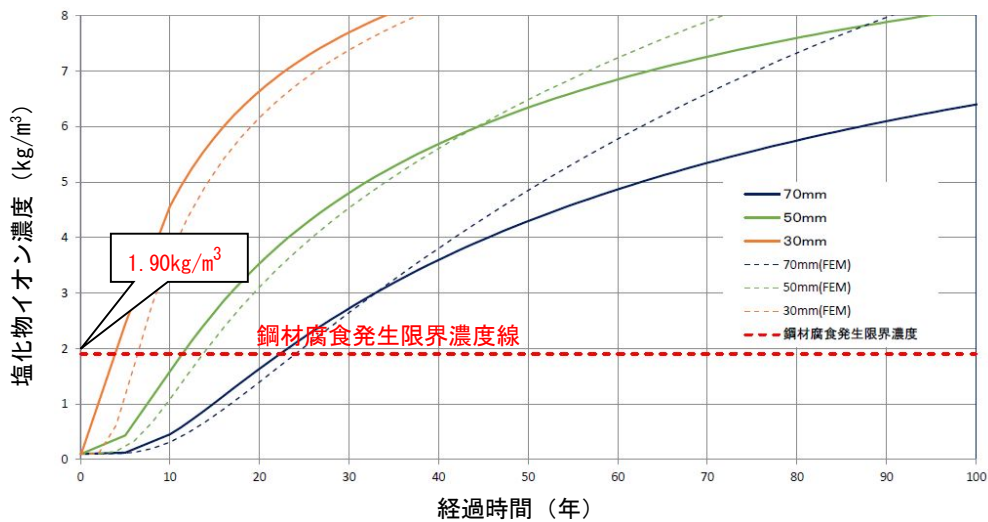


図-1.2.4 場所打ち壁高欄のコンクリートかぶり別耐久性評価

ここで、耐久性解析の結果を纏めると、表-1.2.6のとおりとなる。

表-1.2.6 コンクリート表面の全塩化物イオン濃度  $C_{ao}=13.0\text{kg/m}^3$  での耐久性解析結果

壁高欄の種類	コンクリートかぶり	Fickの第2法則	FEM解析
DAK式プレキャスト壁高欄	70mm	80年	81年
	50mm	40年	43年
	30mm	15年	17年
既存の場所打ち壁高欄	70mm	22年	24年
	50mm	12年	14年
	30mm	4年	7年

以上より、DAK 式プレキャスト壁高欄の耐久性は、以下のように評価できる。

- ① 表-1.2.6 より、今回設定した鋼材腐食発生限界濃度の範囲では、FEM 解析の結果は、Fick の第 2 法則による数値履歴解析結果よりも耐久性年数が高く評価される傾向となり、それは、コンクリートかぶりが小さい方がその傾向は大きくなっている。しかしながら、両者には大きな差は生じなかった。これは、FEM 解析の場合も見掛けの拡散係数は一定と仮定しており、また、壁高欄は、橋軸方向に同形状で、しかも壁高欄表面の塩化物イオン濃度は一定と仮定しており、さらに、塩化物イオンの浸透履歴も、壁高欄前面から直角に浸透すると仮定した FEM 解析、つまり、2 次元モデルによる解析であるため、大きな差は出なかったと考えられる。
- ② 遮塩性に対する耐久性評価は、解析条件等、仮定の域を脱し得ないところはあるものの、コンクリートかぶり 70mm の場合を比較してみると、早強ポルトランドをベースに高炉スラグ微粉末を 30%混入した DAK 式プレキャスト壁高欄は、約 80 年の耐久性を有するのに対し、普通ポルトランドセメントをベースとした場所打ち壁高欄では、約 20 年の耐久性となる。
- ③ コンクリートかぶり 50mm の場合を比較すると、DAK 式プレキャスト壁高欄は、約 40 年の耐久性を有するのに対し、場所打ち壁高欄では、約 12 年の耐久性となる。
- ④ コンクリートかぶり 30mm の場合を比較すると、DAK 式プレキャスト壁高欄は、約 15 年の耐久性を有するのに対し、場所打ち壁高欄では、約 4 年の耐久性となる。
- ⑤ 各コンクリートかぶりに対する耐久性を比較すると、DAK 式プレキャスト壁高欄は、場所打ち壁高欄に比べ、約 3 倍～約 4 倍の遮塩性に対する耐久性能を有する。
- ⑥ DAK 式プレキャスト壁高欄システムとして、床版とプレキャスト壁高欄の接合部に充填される高耐久間詰めモルタルでは、表-1.2.4 に示すように、経過年数（年）20 年において想定される見掛けの拡散係数を比較しても、DAK 式プレキャスト壁高欄のそれよりかなり小さく、少なくとも DAK 式プレキャスト壁高欄に比べ高い耐久性能が確保される。
- ⑦ 今回の耐久性評価は、特に、コンクリート表面の全塩化物イオン濃度を塩害で最も厳しい条件として  $C_{ao}=13.0\text{kg/m}^3$  と設定したため、耐久年数が短く評価されたと思われるが、DAK 式プレキャスト壁高欄の施工場所によっては、コンクリート表面の全塩化物イオン濃度を低く設定できると考えられる。したがって、本検討を基本として、施工場所あるいは施工地域のコンクリート表面の全塩化物イオン濃度を明確にできれば、さらに合理的な耐久性の評価が可能と考えられる。また、耐久性評価の結果に基き、必要に応じてエポキシ樹脂塗装鉄筋の併用なども考えられる。
- ⑧ 今回の FEM 解析では、塩分の浸透が、一方向という 2 次元モデルで解析したため、Fick の第 2 法則に基づく塩分浸透解析での耐久年数に差が出なかったが、塩分浸透の方向が 2 方向以上の場合や、内在する塩分の再拡散等の影響を評価する場合には、FEM 解析が有効であると考えられる。

### 1.3 使用材料の要求性能

ここでは、DAK 式プレキャスト壁高欄システムを構成するプレキャスト壁高欄と高耐久間詰めモルタルの要求性能について述べる。

#### 1.3.1 DAK 式プレキャスト壁高欄

DAK 式プレキャスト壁高欄そのものは、工場で作製されるプレキャストセグメントであるため、基本的な要求性能として、設計基準強度と耐久性の2項目とした。

##### ① 設計基準強度（材令 28 日）：40N/mm<sup>2</sup>以上

材令 28 日での設計基準強度は、標準 40N/mm<sup>2</sup>以上とするが、脱型強度等については、別途検討する必要がある。設計基準強度を標準 40N/mm<sup>2</sup>以上としたのは、JIS 工場での RC としてのプレキャストセグメントの製作上、型枠脱型を早めるため、また、吊り上げ時の強度確保等、強度発現を早くし、型枠の転用回数を稼ぐ目的が基本である。

##### ② 耐久性

耐久性については、高炉スラグ微粉末を 30%以上混合する事によって、「1.2 耐久性」で評価した遮塩性に対する耐久性能を有することとした。

#### 1.3.2 高耐久間詰めモルタル

高耐久間詰めモルタル「商品名：リペアメント NS」は、DAK 式プレキャスト壁高欄と床版との間の接合用モルタルであり、コンクリート部材間の接合モルタルという位置付けにしている。

しかしながら、モルタルの性能規定に着目した場合、NEXCO の構造物施工管理要領（平成 27 年 7 月）では、「2-5 支承および付属物 2-5-2 支承 (3) 無収縮モルタル」の規定のみである。したがって、DAK 式プレキャスト壁高欄システムとしての高耐久間詰めモルタルとしては、コンシステンシー等、NEXCO のモルタルの規定値の一部を満足するようにし、表-1.3.1 に示す基準試験を満足する事で性能を評価することとした。

表-1.3.1 高耐久間詰めモルタル「リペアメント NS」の基準試験

項目 種別	試験項目	試験方法	試験頻度	規定値
セメント系の 無収縮材 (プレミック スタイブ)	①コンシステンシー	試験法 312 (製造工場の規格証明書)	1) 無収縮モルタルの充填開始前に 1 回  2) 製造工場または品質の変更があるごとに 1 回	流下時間 セメント系 8±2 秒
	③ ブリージング			練り混ぜて 2 時間後：0%
	③膨張収縮			材令 7 日で収縮を示してはならない
	④凝 結			開始：1 時間以上、終結：10 時間以内
	⑤圧縮強度			材令 5 日：30N/mm <sup>2</sup> 以上 材令 28 日：40N/mm <sup>2</sup> 以上
	⑥付着強度			材令 28 日：1.5N/mm <sup>2</sup> 以上

表-1.3.1 の①、③および④は、構造物施工管理要領の無収縮モルタルの規定に準ずることとしたが、②のブリージングについては、プレキャスト壁高欄下面側の逆打ち状態を考慮して、練混ぜて2時間後の規定を0%とした。

なお、圧縮強度の材令5日の規定は、特に床版取替工事を睨み、プレキャスト壁高欄施工後、防水処理工、舗装工までの工程を考慮して、交通解放までに30N/mm<sup>2</sup>以上の強度発現が必要とした。ただし、交通解放まで、この規定外の要求性能の必要が生じた場合には、別途協議・検討が必要である。また、圧縮強度の材令28日の規定は、DAK式プレキャスト壁高欄自体の設計基準強度と同程度の規定とした。

次に、付着強度については、ここで用いる高耐久間詰めモルタルは、部材間を接合するモルタルの性能を満足する必要があるとし、コンクリート部材とモルタルの界面の付着強度の性能を規定することとした。そのため、ここでは、NEXCOの構造物施工管理要領「3-5 断面修復 3-5-4 (1) 断面修復の要求性能」に規定する付着強度(JSCE K 561)を満足することとした。但し、高耐久間詰めモルタルは、基本、圧入されるため、プレキャスト壁高欄下面は、逆打ち状態となる。このため、この界面でも付着強度の規定を満足する必要があるとした。

また、耐久性については、プレキャスト壁高欄と同等もしくはそれ以上の耐久性能を有することとした。

その他、性能に関する注意点として、間詰めモルタルは早強ポルトランドセメントがベースとなっているため、充填する断面が大きくなる場合には、硬化熱が高くなる可能性があり、このような場合には、型枠、脱型時期等考慮する必要がある。また、モルタルの収縮に関する規定はないが、使用される部位が、コンクリート部材間という事から、極力、高耐久間詰めモルタルの乾燥収縮による拘束ひび割れ等が生じないように、養生等の対策に注意が必要である。

#### 1.4 適用の範囲

DAK式プレキャスト壁高欄システムは、現時点では、NEXCO管内で発注されるフロリダ型SSタイプ及びSBタイプに適用可能で、構造的観点から、床版との接合にループ鉄筋が配置可能であれば、床版の構造や材料等に左右されることなく、適用可能であると思われる。

今後の工期短縮策の観点から、コンクリート床版や合成床版を有する新設橋梁の建設、床版拡幅工事ならびにプレキャストPC床版を用いた床版取替工事等に適用可能である。

## 第2章 設 計

### 2.1 設計の基本方針

DAK 式プレキャスト壁高欄の設計については、NEXCO の設計要領第二集「橋梁建設編 6 章 支承及び付属物 5. 防護柵」に準拠し、この中の鉄筋コンクリート製防護柵の項を準用して、設計上定められた基本的な事項について、同設計要領に示される図表を準用して示すこととした。

ただし、DAK 式プレキャスト壁高欄の構築法は、工場製作のプレキャスト部材を用いる工法であり、この部材製作に用いられる材料、橋梁床版部との接合方法、橋軸方向の連続壁としての部材接合方法等、DAK 式プレキャスト壁高欄の独特な構造であるこれらの部分に関し、主要な設計事項を中心として記述するものである。なお、これらの諸元決定に関する詳細な計算手法等は、巻末の参考資料に具体的設計例として掲載することとした。

### 2.2 設計に用いる材料の物理定数

#### 2.2.1 概 要

設計に用いる材料の物理定数については、壁高欄自体の設計と接合部の安全性を検討するための FEM 解析があるため、それぞれに対応できる物性表記とした。

#### 2.2.2 DAK 式プレキャスト壁高欄コンクリート

プレキャスト部材に用いるコンクリートは、「第1章 1.3 使用材料の要求性能 1.3.1 DAK 式プレキャスト壁高欄」で述べたとおりであり、設計用のコンクリートの物理定数は、表-2.2.1 に示すとおりである。

ただし、設計において、実際の強度を用いる場合は、その実強度を確認する必要がある。

表-2.2.1 コンクリートの物理定数

項 目	設計値	備 考
強 度	$\sigma_{ck}=40\text{N/mm}^2$	28 日材令
ヤング係数 ( $E_c$ )	$3.1 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$	28 日材令
ポアソン比	1/6	

#### 2.2.3 鋼 材

鉄筋コンクリート部材の設計として使用する鉄筋や橋軸方向の接合に使用する PBL の鋼材は、表-2.2.2 に示す規格値とし、表-2.2.3 には、鋼材の物理定数を示す。



表-2.2.2 使用鋼材の規格値

使用鋼材	規 格	備 考
鉄 筋	SD345	
孔あき鋼板 (PBL)	SM400	壁高欄同士のPBL側接合部に使用
縞鋼板	SS400	壁高欄同士の溝側接合部に使用

表-2.2.3 鋼材の物理定数

項 目	設計値
ヤング係数 ( $E_s$ )	$2.0 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$
ポアソン比	0.3

#### 2.2.4 高耐久間詰めモルタル

床版とDAK式プレキャスト壁高欄の接合部及び橋軸方向のプレキャスト壁高欄同士の接合部に充填される高耐久間詰めモルタルは、「第1章 1.3 使用材料の要求性能 1.3.2 高耐久間詰めモルタル」で述べたとおりであり、設計用の物理定数は、表-2.2.4のとおりである。

ただし、設計において、実際の強度を用いる場合は、その実強度を確認する必要がある。

表-2.2.4 高耐久間詰めモルタルの物理定数

項 目	設計値	備 考
強 度	$\sigma_{ck} = 40 \text{ N/mm}^2$	28日材令
ヤング係数 ( $E_m$ )	$2.1 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$	28日材令 (参考値)
ポアソン比	1/6	コンクリートと同程度

注) 高耐久間詰めモルタルのヤング係数 ( $E_m$ ) は、28日材令の試験値として得られた値を参考値としている。

### 2.3 作用荷重と設計方法

#### 2.3.1 壁高欄に作用する荷重

NEXCOで採用されている壁高欄の構造を決定する場合、一般的に、風荷重、衝突荷重を考慮して設計する。

具体的には、NEXCOの「設計要領第二集 [橋梁建設編] 第6章 支承および付属物」に記載される鉄筋コンクリート製防護柵の設計荷重を用いることとする。

図-2.3.1及び表-2.3.1に、風荷重及び衝突荷重の載荷位置と衝突荷重強度をそれぞれ示す。

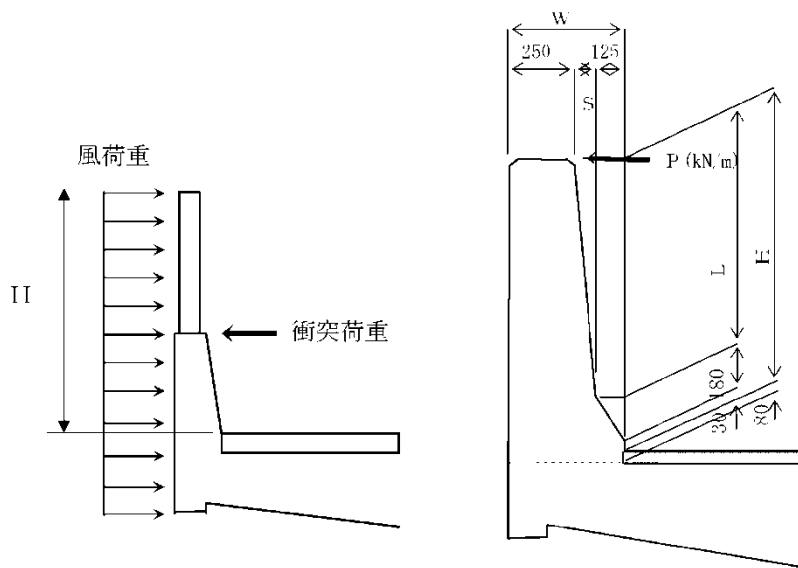


図-2.3.1 設計荷重と載荷位置

表-2.3.1 鉄筋コンクリート防護柵の種別、寸法関係及び衝突荷重強度

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

### 2.3.2 設計照査断面位置

壁高欄の設計照査断面位置は、図-2.3.2に示すように、床版上面の①位置と、壁高欄上からのテーパ変化点である②位置の2断面で、この両断面位置について、鉄筋コンクリート (RC) 断面としての応力照査を行えばよい。

なお、DAK 式プレキャスト壁高欄の場合、プレキャスト壁高欄と床版の接合部には、高耐久間詰めモルタルが充填されるが、「第1章 1.3 使用材料の要求性能」で述べたとおり、基本的には、本材料もプレキャスト壁高欄同様、設計用圧縮強度は同一としているため、鉄筋コンクリート (RC) 断面として、設計上の物理定数に関する問題はないと考えている。

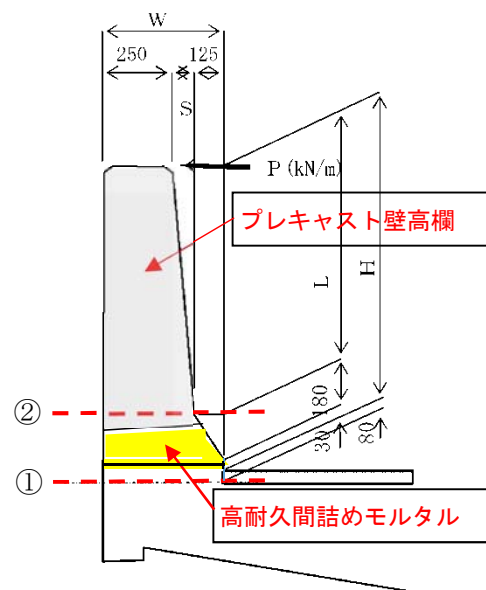


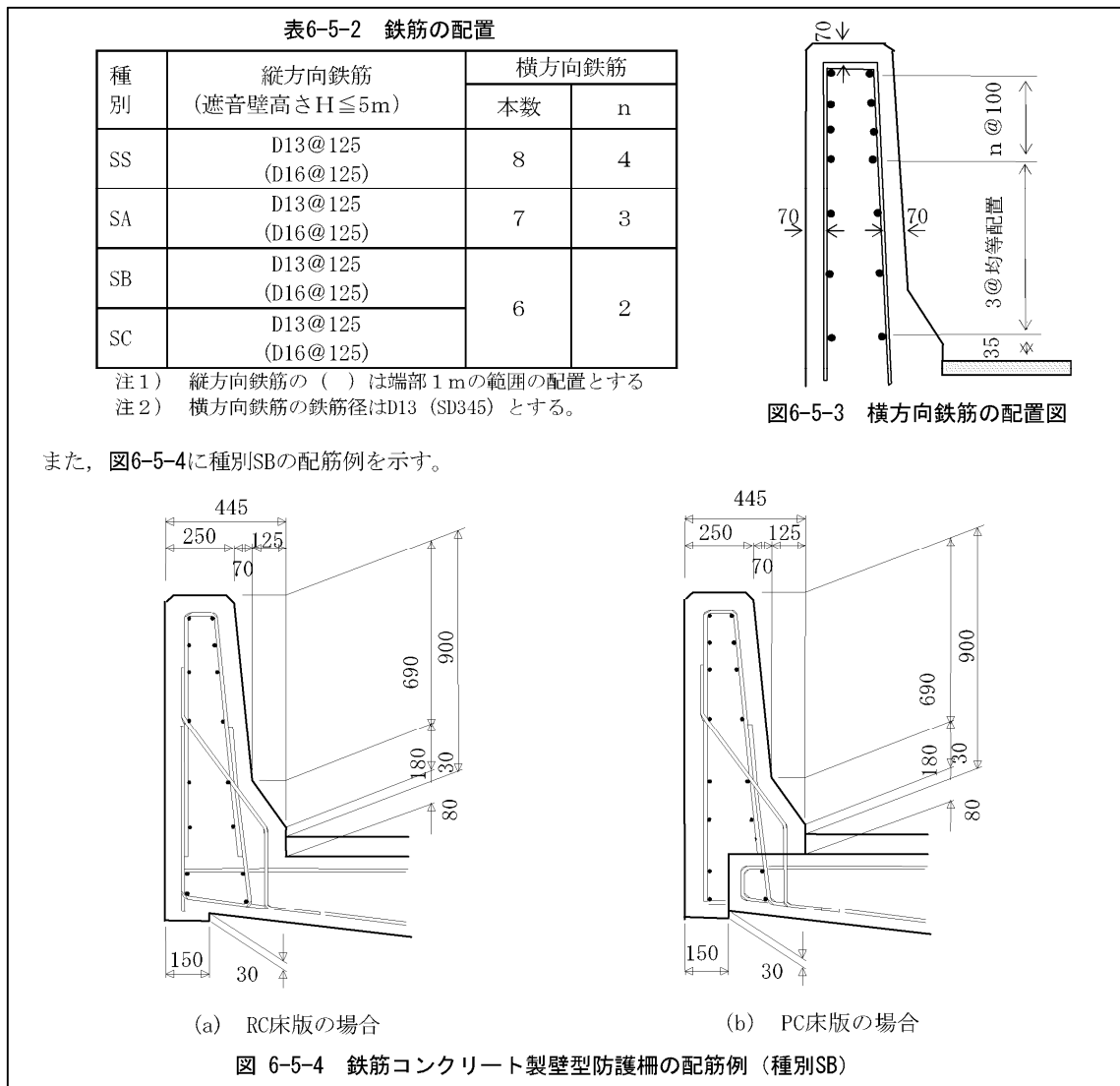
図-2.3.2 断面の照査位置

### 2.3.3 設計方法

DAK式プレキャスト壁高欄の縦方向の設計では、道路橋示方書に示される風荷重と衝突荷重を考慮して断面力を算定する。また、衝突荷重は、**図-2.3.1**及び**表-2.3.1**に示される天端線荷重(P)を用い、**図-2.3.2**に示す設計断面位置で断面力を算定し、それぞれ応力照査を行えばよい。

一方、横方向(橋軸方向)接合部(PBL)の設計についても、**表-2.3.1**の衝突荷重(F)を用いるが、本設計については、単純なはりの設計が困難であるため、別途FEM解析を実施し、接合部の構造諸元を定めている。なお、横方向の壁部材に配置される横方向鉄筋の配置は、壁高欄の種別により、NEXCOの「設計要領第二集[橋梁建設編]第6章 支承及び付属物 5. 防護柵」から抜粋した**表-2.3.2**に示される表内の「**表 6-5-2 鉄筋の配置**」に記載される本数と段数を配置すればよい。

表-2.3.2 設計要領第二集 橋梁建設編 6-116 参考図



### 2.3.4 プレキャスト製作部材断面設定の配慮事項

DAK 式プレキャスト壁高欄は、橋梁床版と壁高欄部材間の接合にループ鉄筋継手を用い、その接合部に高耐久間詰めモルタルを充填する構造となっている。

ここで検討すべき設計上の課題として、**図-2.3.3**に示す接合部の断面形状、鉄筋配置や壁高欄下面の形状（勾配）等を考慮した適切な間詰め部の構造が挙げられる。これには、施工性、経済性等を考慮する必要があり、以下の事項に配慮して決定すればよい。

- ① 高耐久間詰めモルタルの充填方向（道路側からか壁高欄背面からか）
- ② 床版との接合を考慮した床版部あるいは床版端部の形状
- ③ ループ鉄筋同士の配置等、施工精度の確保と設置作業性
- ④ 間詰めモルタルの型枠設置の容易性
- ⑤ 間詰めモルタルの確実な充填性
- ⑥ 現場施工の省力化

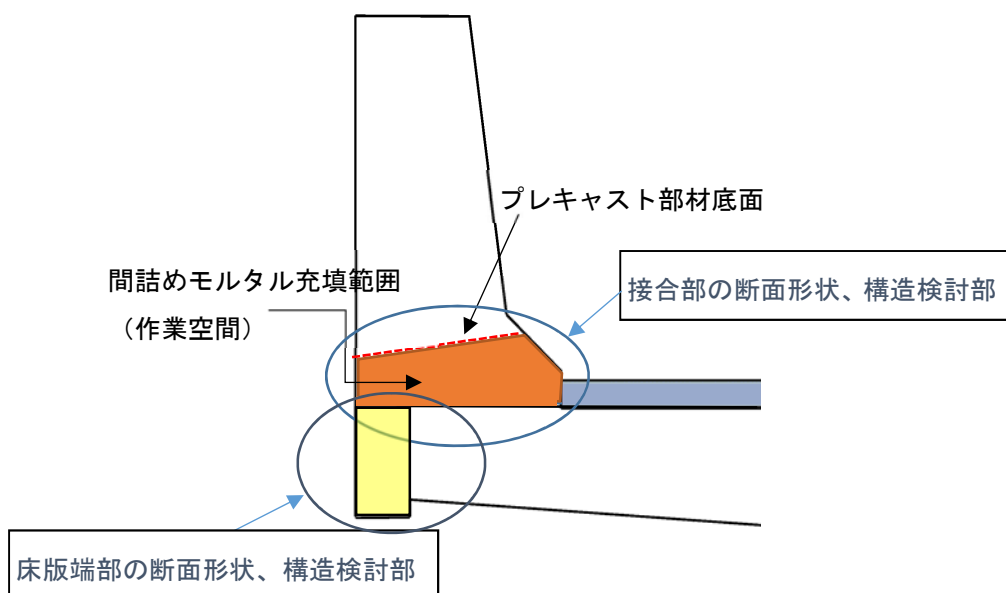


図-2.3.3 DAK 式プレキャスト壁高欄と床版との接合断面

なお、上記を考慮した接合断面形状の実績を、巻末の参考資料「4. DAK 式プレキャスト壁高欄と各種床版との接合例」に示した。

## 2.4 床版と壁高欄接合部の構造

### 2.4.1 床版と壁高欄の接合構造の基本

床版と DAK 式プレキャスト壁高欄との接合は、**図-2.4.1** 及び **図-2.4.2** に示すように、床版側に配置されるループ鉄筋とプレキャスト壁高欄側に配置されるループ鉄筋でループ継手を形成することを基本としている。

床版から立ち上がるループ鉄筋は、床版の嵩上げ等、床版の製作形状に左右されることになるが、プレキャスト壁高欄側に配置したループ鉄筋とともに、それぞれループ継手が形成できれば、接合構造として成り立つものと考ええる。また、ループ継手の鉛直方向の重なり高さ（上下の鉄筋中心高さ）は、最低限 100 mm 以上を確保し、そのループ内には前後面で最低 2 本以上の橋軸方向鉄筋を配置することを基本とする。

この重なり高さについては、巻末の参考資料「5. DAK 式プレキャスト壁高欄接合部の安全性に関する検討」に詳述している。

なお、間詰めモルタルの充填範囲は、床版の嵩上げ高さを考慮して、適宜設定してよい。

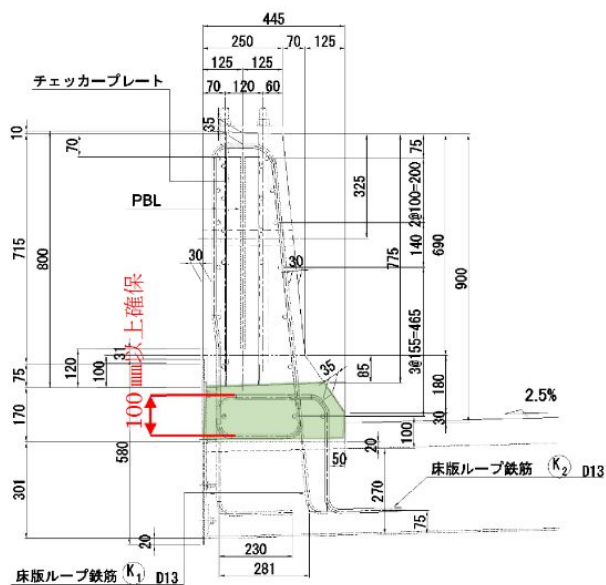
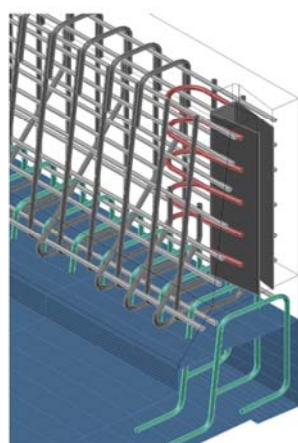
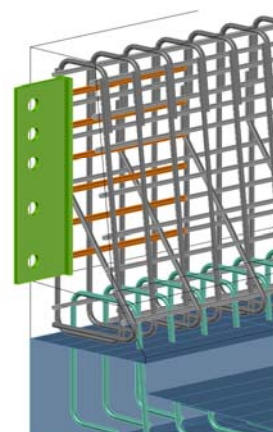


図-2.4.1 合成床版と壁高欄接合部例（SB種）



(a) 溝側壁高欄の鉄筋配置例



(b) PBL側壁高欄の鉄筋配置例

図-2.4.2 DAK 式プレキャスト壁高欄同士の接合部付近の鉄筋配置例

ここで、これまでの実績としての接合構造例を巻末の参考資料「4. DAK 式プレキャスト壁高欄と各種床版との接合例」に示した。

#### 2.4.2 接合部のループ鉄筋継手の配置例

床版とプレキャスト壁高欄の接合部に配置されるループ鉄筋継手では、工場で製作するプレキャスト部材と、それを建込み設置する床版構造等により、配置されるループ鉄筋の継手方法やループ形状が異なる可能性もあり、ループ鉄筋継手の形状を決定する場合は、

床版構造や床版の製作方法を十分考慮する必要がある。特に、耐久性を確保するため、鉄筋のかぶりを大きくするケースも考えられるため、例として、**図-2.4.3**にプレテンション PC 床版との接合例を、また、**図-2.4.4**に、ポストテンション PC 床版との接合例をそれぞれ示した。

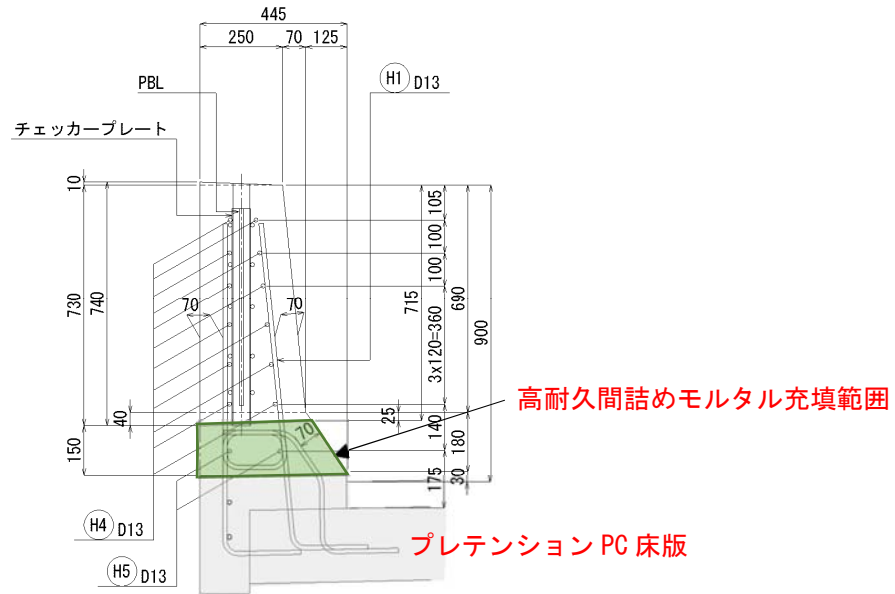


図-2.4.3 プレテンション PC 床版との接合例 (SB 種)

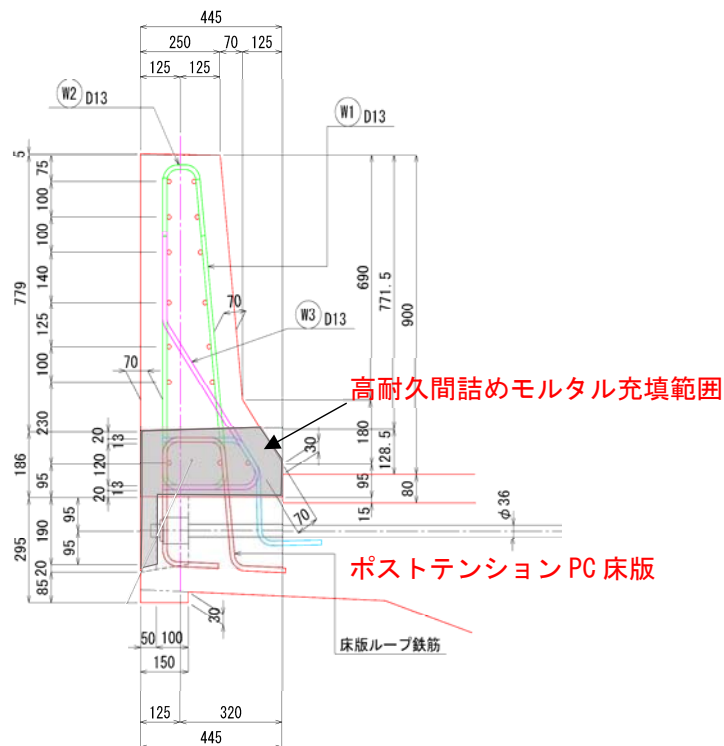


図-2.4.4 ポストテンション PC 床版との接合例 (SB 種)

### 2.4.3 構造細目

床版とプレキャスト壁高欄の接合部におけるループ鉄筋の配置では、**図-2.4.5**に示すように、壁高欄の主鉄筋ループ鉄筋とハンチ部斜め鉄筋を配置する。このハンチ部斜め鉄筋は、250mm以下の間隔で配置するのが望ましい。

参考として計画した橋梁の鉄筋配置例を示す。

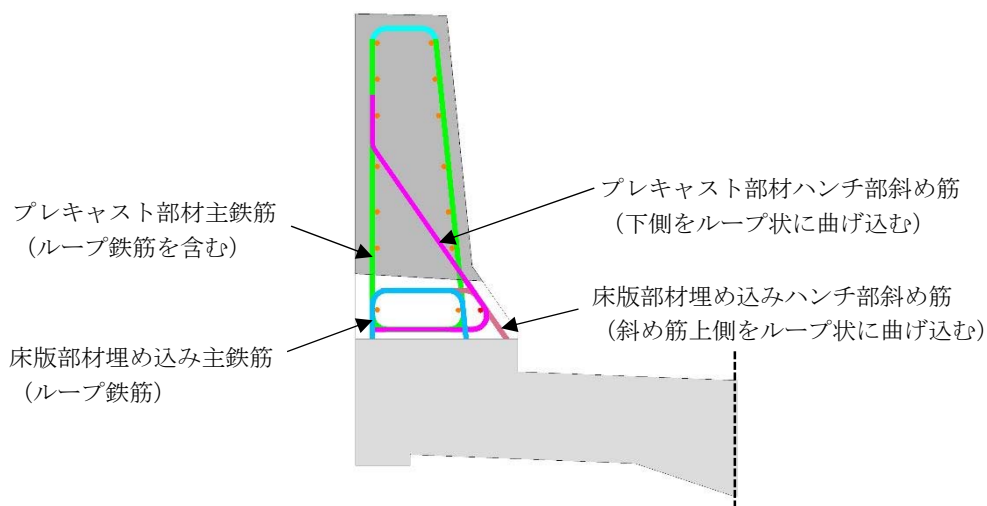


図-2.4.5 ポストテンション PC 床版との接合例 (SB 種)

また、**図-2.4.5**に示すとおり、DAK 式プレキャスト壁高欄を上から落とし込んで、壁高欄側のループ鉄筋と床版側のループ鉄筋をそれぞれループ鉄筋継手とする鉄筋配置のイメージ図を**図-2.4.6**に示す。

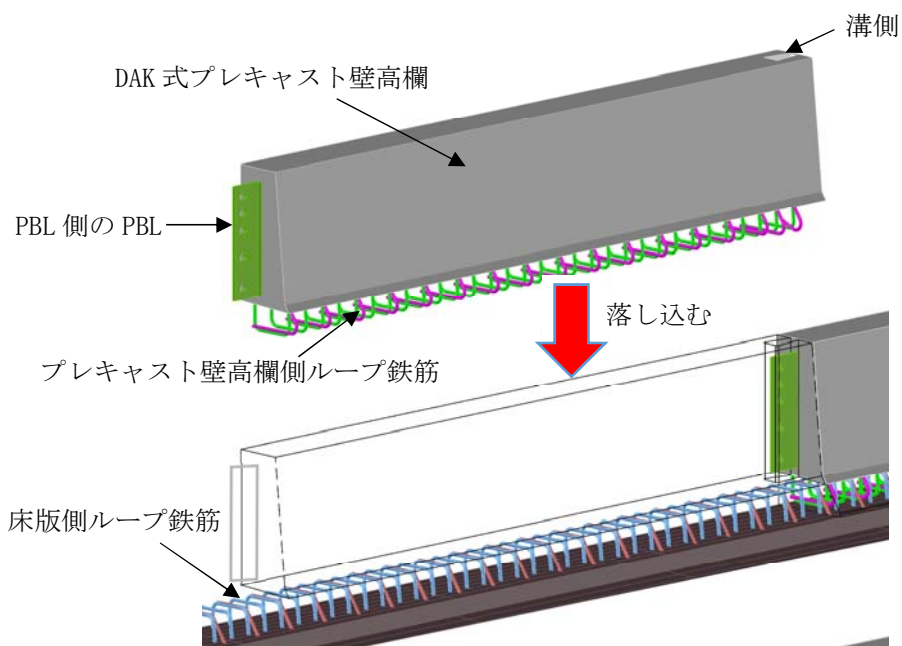


図-2.4.6 DAK 式プレキャスト壁高欄の建込みによるループ鉄筋の配置イメージ図

## 2.5 壁高欄の橋軸方向接合部の構造と設計方法

壁高欄は、基本的に、橋軸方向に連続した構造である。しかし、工場製作されるプレキャスト部材は、運搬重量、運搬長さ等の関係から、橋軸方向の長さが制限されるため、橋軸方向にプレキャスト壁高欄同士の接合部が必要となる。

プレキャスト壁高欄は、このように分割された部材同士を接合する構造になるが、壁高欄としては、力学的に連続体とみなせる一体化構造が望ましい。したがって、ここでは、この接合部の構造詳細と構造一体性について、具体的な設計の考え方について述べる。

### 2.5.1 橋軸方向の接合部の構造

橋軸方向の壁高欄同士の接合部の安全性は、車両の衝突荷重時に生じる面外曲げ及び橋軸方向の曲げ引張り力に抵抗し、連続体構造として、その接合部が面外変形に対し、変形量が微小であることが望ましい。

ここでは、その接合部の挙動を検証する。因みに、本接合部には、高耐久間詰めモルタルが充填され、プレキャスト壁高欄同士の構造一体化を図っている。

本接合部の挙動として、DAK 式プレキャスト壁高欄の橋軸方向の接合部に、図-2.5.1 に示すような衝突荷重が作用した場合、図-2.5.1 の右側に示す変形挙動と力の作用を受けることが FEM 解析等から明らかになっている。

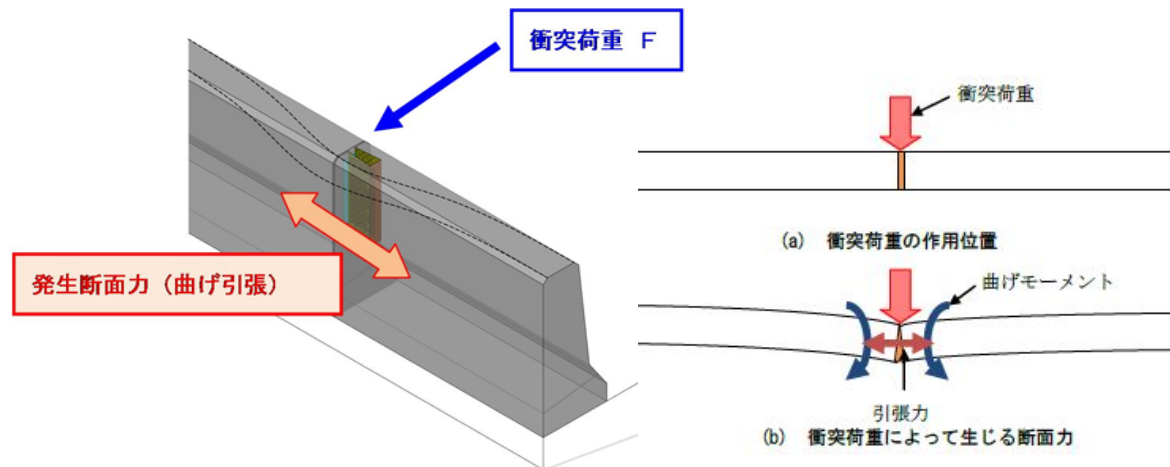


図-2.5.1 衝突荷重による接合部の力の作用の概念図

DAK 式プレキャスト壁高欄では、図-2.4.2(b)に示したとおり、プレキャスト壁高欄同士の接合に PBL 構造を採用しており、その接合部に車両衝突荷重が作用した場合には、曲げ作用とともに橋軸方向の断面力 (曲げ引張力) が作用する。この断面力 (曲げ引張力) に対し、PBL がずれ止めとして抵抗し、PBL 孔に充填されたモルタルの抵抗により、所定の安全性を確保することによって橋軸方向の連続性が保たれているとしている。



## 2.5.2 橋軸方向接合部の照査法と標準設計例

橋軸方向の接合部の設計では、基本的に PBL の安全性に対する設計が基本となる。ここで、PBL に作用する断面力の算定は、PBL を含む接合部の継手要素をモデル化した 3 次元ソリッドモデルによる FEM 解析を実施し、接合部に発生する断面力を直接的に算定する方法を採用した。

具体的な解析方法や設計方法については、巻末の参考資料「2. 壁高欄 (SB 種) 同士の接合部の標準設計例」及び「3. PBL 孔のモルタルのせん断耐力の評価方法」に詳細に述べている。

## 2.5.3 PBL の接合構造諸元

PBL の配置は、前述した参考資料の標準設計例から、FEM による解析手法を用いて算定された PBL 部に発生する曲げ引張り力に対して、特に、**図-2.5.1(b)**に示すように、引張り抵抗力に対する PBL 孔のモルタルジベルの 2 面せん断耐荷力を照査し、ジベル孔の孔径と孔の縦列間隔を決定している。結果として、使用する PBL 鋼板の橋軸方向の長さを 180 mm とし、最少厚さを 12mm としている。基本となる継手部の構造概要図を**図-2.5.2**に示す。PBL 以外の引張抵抗用補強筋についても設計計算によりその詳細を決定している。

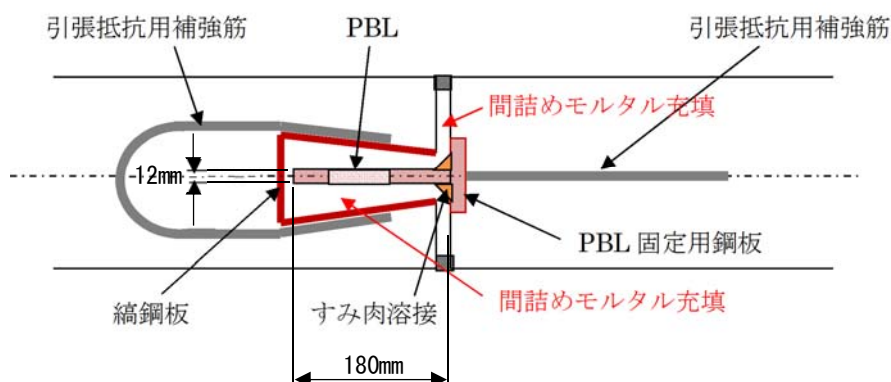


図-2.5.2 橋軸方向接合部の PBL 継手構造概要図

以下に、FEM 解析によって設計された PBL の標準継手構造図を示す。

なお、この場合の鉄筋かぶりは 30mm であるが、鉄筋かぶりが 30mm の場合、SB 種、SS 種の接合部の継手構造や鉄筋配置は、以下の**図-2.5.3**及び**図-2.5.4**に示す配置を標準配置としてよいとした。





#### 2.5.4 PBL 孔モルタルジベルのせん断耐力の照査

ジベル孔に作用するせん断耐力を照査する方法は、土木学会 2014 年制定「複合構造標準示方書〔設計編〕〔標準編〕 5 章 5.3 孔あき鋼板ジベル」の規定を参考にしている。

この規定における孔あき鋼板ジベルの設計せん断耐力は、実験から得られた終局耐力を基本に考えられており、終局限界状態での設計せん断耐力は、ジベル孔の使用限界状態での設計せん断耐力の 3 倍であると土木学会の規定に述べられている。

したがって、本設計では、衝突荷重による断面力を基本とし、

① 衝突荷重による設計断面力に対する RC 断面での設計では、鉄筋の応力度の制限値は、使用限界状態における応力度の制限値の 1.5 倍であること、

② ジベル孔のせん断耐力の値は、終局限界状態における値であること、

を勘案して、応答値と限界値の相関性を等価にするため、終局限界状態での作用せん断力と設計せん断耐力の関係は、式-2.5.1 で表されるとした。

$$S_{du} = 3 ( S_{an} / 1.5 ) < V_{psud} \quad \text{式-2.5.1}$$

ここに、

$S_{du}$  : 終局限界状態での作用せん断力

$S_{an}$  : 衝突荷重が作用した場合の解析から得られたせん断力

$V_{psud}$  : 設計せん断耐力

##### (1) PBL 孔の設計せん断耐力 (1 孔あたり)

PBL 孔の設計せん断耐力は、以下の参考-2.5.1 の土木学会の規定より、式-2.5.2 で計算できる。

$$V_{psud} = 1.60 d^2 f'_{cd} / \gamma_b \quad \text{式-2.5.2}$$

ただし、 $35\text{mm} \leq d \leq 90\text{mm}$ 、 $12\text{mm} \leq t \leq 22\text{mm}$ 、 $24\text{N/mm}^2 \leq f'_{cd} \leq 57\text{N/mm}^2$  である。

ここに、

$V_{psud}$  : PBL のコンクリートジベル 1 個あたりの設計せん断耐力 (N)

$d$  : 孔径 (mm)

$t$  : 鋼板の板厚 (mm)

$f'_{cd}$  : コンクリートの設計圧縮強度 (N/mm<sup>2</sup>)

ただし、ここでは  $\gamma_c=1.0$  として設計圧縮強度を求めるものとした。

$\gamma_b$  : 部材係数 (本設計では、1.3 を用いる

一般に 1.3 としてよいが、コンクリートジベルのせん断耐力を小さく設定した方が構造物の性能を危険側に評価する場合には 1.0 とする。

参考-2.5.1 2014 年制定複合構造標準示方書 設計編 5.3 解説より

(b) 貫通鉄筋の無い場合

$$V_{psud} = 1.60 d^2 f'_{cd} / \gamma_b \quad (\text{解 5.3.3})$$

ただし、 $35\text{mm} \leq d \leq 90\text{mm}$ 、 $12\text{mm} \leq t \leq 22\text{mm}$ 、 $24\text{N/mm}^2 \leq f'_{cd} \leq 57\text{N/mm}^2$ である。

ここに、

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

$d$  : 孔径 (mm)

$t$  : 鋼板の板厚 (mm)

$\phi$  : 貫通鉄筋径 (mm)

$f'_{cd}$  : コンクリートの設計圧縮強度 (N/mm<sup>2</sup>)

ただし、ここでは  $\gamma_c = 1.0$  として設計圧縮強度を求めてよい。

$f_{ud}$  : 貫通鉄筋の設計引張強度 (N/mm<sup>2</sup>)

$\gamma_b$  : 部材係数。一般に 1.3 としてよいが、孔あき鋼板ジベルのせん断耐力を小さく設定した方が構造物の性能を危険側に評価する場合には 1.0 とする。

式 (解 5.3.2) および式 (解 5.3.3) は、孔あき鋼板ジベルの破壊が孔間の鋼板のせん断破壊よりも先行する場合であるため、適用は以下の式 (解 5.3.4) を満足するものでなければならない。

$$V_{sud} = A_s \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}} \cdot \frac{100}{60} / \gamma_b \geq V_{psud} \quad (\text{解 5.3.4})$$

ここに、

$V_{sud}$  : 孔間の鋼板のせん断耐力 (N)

$f_{yd}$  : 鋼材の設計引張降伏強度 (N/mm<sup>2</sup>)

$A_s$  : 孔間の鋼板のせん断抵抗面積 (mm<sup>2</sup>)

$\gamma_b$  : 部材係数

また、式-2.5.2は、コンクリートジベルの破壊が孔間の鋼板のせん断破壊よりも先行する場合であるため、適用は、以下の式-2.5.3を満足するものでなければならない。

(2) 鋼板のせん断耐力

孔間の鋼板のせん断耐力は、参考-2.5.1の土木学会の規定より、式-2.5.3で計算できる。

$$V_{sud} = A_s \cdot (f_{yd} / \sqrt{3}) \cdot (100/60) / \gamma_b \geq V_{psud} \quad \text{式-2.5.3}$$

ここに、

$V_{sud}$  : 孔間の鋼板のせん断耐力 (N)

$f_{yd}$  : 鋼材の設計引張降伏強度 (N/mm<sup>2</sup>)

$A_s$  : 鋼板のせん断抵抗面積 (mm<sup>2</sup>)

$\gamma_b$  : 部材係数

### (3) 設計で考慮するPBLの設計せん断耐力 (1孔あたり)

式-2.5.2は、コンクリートに対応した式であるが、DAK式プレキャスト壁高欄システムでは、壁高欄同士の接合部に配置されたPBLの孔の中には、高耐久間詰めモルタルが充填される。

一般的に、ジベル孔のモルタルのせん断耐力は、コンクリートのせん断耐力に比べ低下することが知られている。

モルタルにおけるPBL孔のせん断耐力評価に関する論文及びせん断耐力評価式を、巻末の参考資料「3. PBL孔のモルタルのせん断耐力の評価方法」に詳述しており、その結果を基にして、本設計では、耐力低下の影響度を考慮するため、低減率 ( $\rho$ ) を用いて表すこととした。

したがって、モルタルにおける設計で考慮するPBL孔 (1孔あたり) の設計せん断耐力は、式-2.5.2にこの低減率 ( $\rho$ ) を考慮する事によって式-2.5.4で計算できるとした。

$$V_{psud} = (1-\rho) \cdot 1.60 \cdot d^2 \cdot f'_{cd} / \gamma_b \quad \text{式-2.5.4}$$

ここに、

$V_{psud}$  : PBLのコンクリートジベル1個あたりの設計せん断耐力 (N)

$\rho$  : モルタルに対するコンクリートのせん断耐力の低減率 ( $\rho = 0.5$ )

$d$  : 孔径 (mm)

$f'_{cd}$  : コンクリートの設計圧縮強度 (N/mm<sup>2</sup>)

ただし、ここでは  $\gamma_c = 1.0$  として設計圧縮強度を求めるものとした。

$\gamma_b$  : 部材係数 (本設計では、1.3を用いる)

一般に1.3としてよいが、コンクリートジベルのせん断耐力を小さく設定した方が構造物の性能を危険側に評価する場合には1.0とする。

### 2.5.5 構造細目

PBLの構造細目を設定する上で、基本的な考え方を纏めると以下のとおりとなる。

- 1) PBL鋼板の板厚は、PBL孔に充填されたモルタルの割裂破壊を生じさせないための最小厚 ( $t$ ) 以上とし、土木学会の推奨値を準用して12mm以上とする。
- 2) PBL孔の孔径  $d$  は、40mm以上とし、孔と孔の中心間隔は、 $2d$  を確保する。  
(土木学会の推奨値 1.6~2.8倍の範囲内で経験的な見知から設定)
- 3) PBLの鋼板と孔部の縁端距離は、モルタルジベルのせん断耐力 ( $V_{psud}$ ) を勘案の上、鋼板の縁端距離が構造的に弱点とならない距離を確保する。  
具体的には、 $V_{spud} < V_{sud}$  の関係を確認し、縁端距離は  $d$  以上 ( $d$  はPBLの孔径) を確保するものとし、照査の結果、縁端距離は、40mm以上を確保するものとする。

- 4) 最上縁のモルタルジベルのせん断伝達が十分に図れるよう、モルタルジベルの中心から 45° 方向のせん断抵抗面が、高欄天端ライン内に収まるよう、最上縁モルタルジベルの位置を設定している。また、接合部は場所打ちとなるため、これに対応する適切な鋼材のかぶりを確保するものとする。
- 5) 橋軸方向継手部には、連続した鋼材(鉄筋)が配置されないため、PBL は可能な限り下端まで配置する方針とする。なお、壁高欄内に通信管路の配置計画等がある場合は、PBL の配置高さを調整する必要がある。
- 6) 橋軸方向継手部に発生する断面力では、衝突荷重が作用した場合、壁天端で橋軸方向に大きな曲げ引張力が発生し、下端に向かい減少する台形分布となる。したがって、ジベル孔の鉛直配置は、衝突荷重による引張り力の鉛直分布を配慮して、適切に配置するものとする。

図-2.5.3 及び図-2.5.4 の標準継手構造図の諸寸法は、これらの構造細目に準拠したものとなっている。

### 2.5.6 その他の留意点

DAK プレキャスト壁高欄同士の接合部の PBL 継手部では、更に、PBL 鋼板から伝達される曲げ引張力に対し、プレキャスト部材への定着に用いる定着鉄筋の使用径と高さ方向の本数、また、溝側に配置される縞鋼板部に発生する曲げ引張力に対する補強鉄筋の使用径と本数等の細部を検証・設計し配置している。

その結果、図-2.5.3 及び図-2.5.4 に示す配置を標準とした。

## 2.6 プレキャストブロックの割付け

### 2.6.1 ブロック長

プレキャストブロックの橋軸方向の標準的な長さは、基本的に、以下を考慮して決定すればよい。

- ① 遮音壁アンカーの設置間隔
- ② プレキャストブロックの運搬重量及び運搬する個数
- ③ 橋梁の平面線形
- ④ 架設上の制約や構造上の事由 (床版の取替えによるプレキャスト PC 床版の採用等)

これまでの実績では、一般的には、偶数の長さとして 4.0m のブロック長を基本としているが、橋梁の平面線形、或いは架設上の制約、構造上の事由等がある場合は、2.0m あるいはその他のブロック長の検討も必要である。

### 2.6.2 橋梁支点上及び端部の割付け方法

橋梁部の支間長は、殆どの場合、橋脚の位置等により、例えば、51.2mのように、一桁部や小数点以下部に端数を有する場合があります。また、連続桁形式の場合は、中間支点上で負曲げが卓越する構造となるため、壁高欄は、不連続とする構造が多い。このため、プレキャストブロックの端部面は、継手構造の無いフラットなブロックとなる。このブロック形式を基準に割り付けを行い、遮音壁アンカーの間隔を考慮しながら、端数のブロックを1～2ブロック設けて割り付けを行うのがよい。

また、端部には伸縮装置が設置されるため、この部分の床版との接合部も含めて、端尺のブロックを設定する事も必要になる。

割り付けは、各橋梁で異なるが、基本的には、プレキャストブロックの製作面や型枠の製作面を考慮すると、標準ブロックを多く製作・架設する事がより経済性に繋がるため、製作上の端尺が少なくなるよう、事前の割り付け計画が重要である。

### 2.6.3 場所打ち部を有する割付け方法

ブロックの割り付け上、例えば、橋梁端部の伸縮継手部等、場所打ちの壁高欄が必要な場合、その場所打ちの長さは、プレキャスト壁高欄との接合に要する鉄筋配置や、床版構造等を勘案して、最小長さにすることが望ましい。

また、プレキャスト壁高欄に場所打ち壁高欄を接合する場合には、プレキャスト壁高欄のPBL側のPBLの孔明き鋼板を利用して、その孔に鉄筋を挿入して鉄筋配置する等の接合が確実性のある方法であると考えられる。

参考までに、写真-2.6.1に、圏央道・桶川第5高架橋でのSB種とSS種の擦付けの場合の場所打ち高欄部の施工状況を示す。



写真-2.6.1 SB種とSS種の擦付け場所打ち部の施工例



### 第3章 製作

#### 3.1 型枠の製作

##### 3.1.1 型枠の計画

プレキャスト壁高欄の型枠は、一般に転用して用いられ、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を繰り返し受けるため、これらによる、そりやねじれが生じることのないよう十分な強度、剛性を有する鋼製型枠を使用するのがよい。また、脱型時に製品を損傷させることなく取り外せる構造が望ましい。

鋼製型枠の参考例を図-3.1.1に示す。

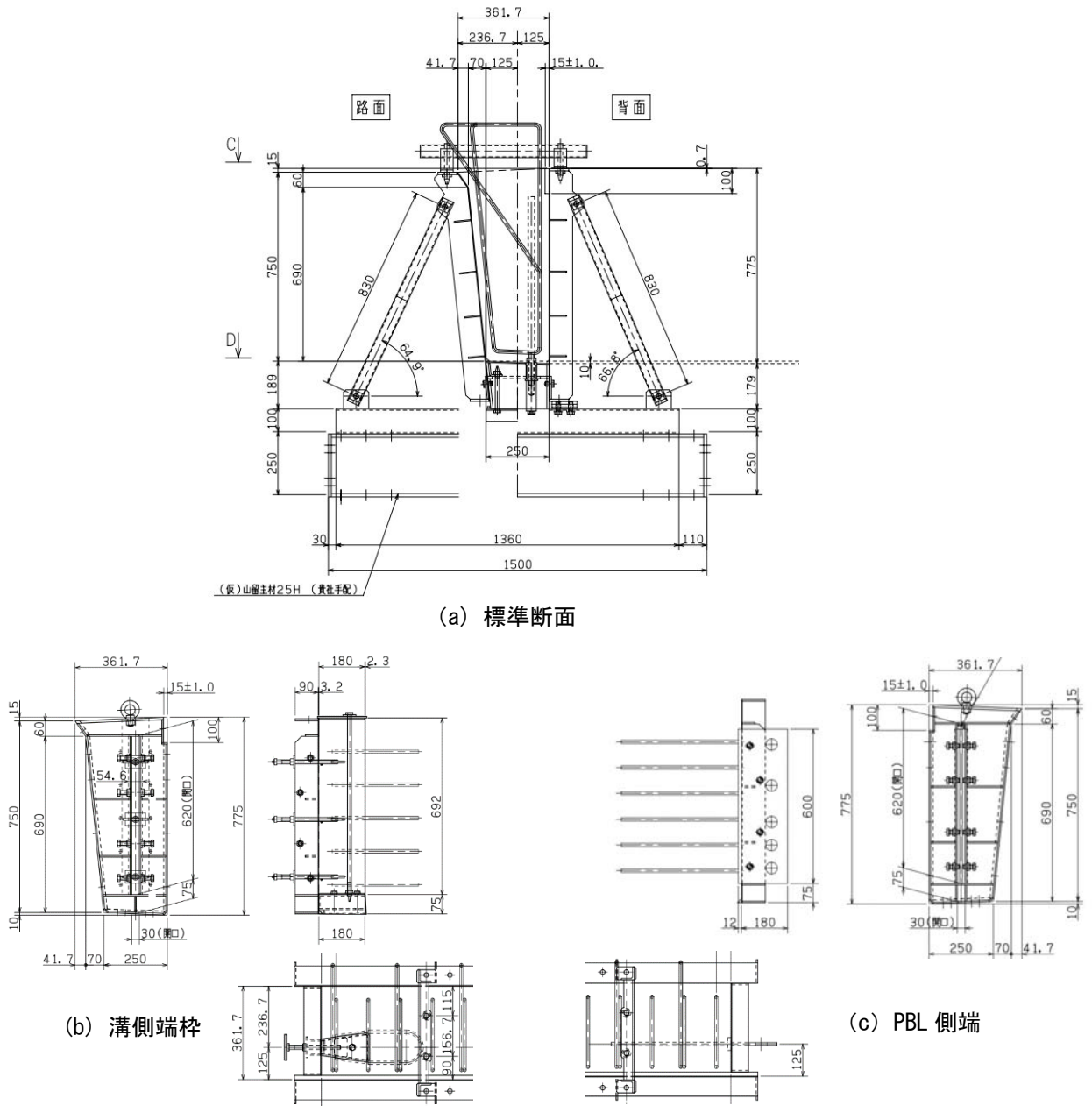


図-3.1.1 型枠参考図

### 3.1.2 隅角部の面取り

プレキャスト壁高欄の部材各端部の面取りは、特に指定がない場合は、「JIS A 5373 設計・製造便覧」より、C10程度とする。

製品の下端部は、**図-3.1.2**の赤線に示す形状例が考えられるが、鋭角形状の場合は脱型時や運搬時に欠けやすいため、鋭角にならない断面形状とするのがよい。

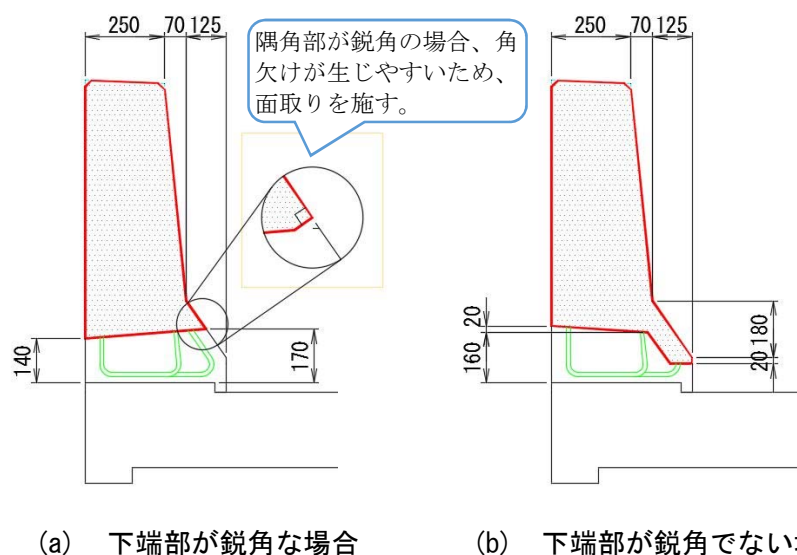


図-3.1.2 製品下端部の形状例

## 3.2 鉄筋と型枠の組立て

### 3.2.1 鉄筋ユニットの組立て

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

鉄筋組立て架台上での組立て状況例を**写真-3.2.1**に、鉄筋ユニットのストック状況例を**写真-3.2.2**に示す。



写真-3.2.1 鉄筋組立て状況例



写真-3.2.2 ストック状況例

### 3.2.2 配筋の許容誤差

鉄筋の間隔、径及び最小かぶりが設計図どおりであることを確認する。NEXCOの「コンクリート施工管理要領 2-5-2 出来形基準」に示されている許容値を表-3.2.1に示す。

表-3.2.1 鉄筋の組立ての許容誤差

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

### 3.2.3 付属物の取付け

遮音壁などの付属物を取り付くことが多いので、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に、鉄筋などとの干渉を事前に確認することが重要である。

遮音壁のアンカーの設置例を写真-3.2.3に示す。



写真-3.2.3 遮音壁アンカーの設置例

### 3.2.4 型枠の組立て

側型枠は、片面を先行して組み立てる。その際、転倒防止を確実に施す。

次に、事前に組み立てた鉄筋ユニットを所定の位置にセットし、PBLやインサートなどを取り付ける。所定のかぶりを確保できるように、モルタル製スペーサを側面1m<sup>2</sup>当り2個以上、底面1m<sup>2</sup>当り4個以上設置する。その後、反対側の側型枠を組み立てる。

型枠の組立て手順を写真-3.2.4から写真-3.2.7に示す。



写真-3.2.4 片側の側型枠の組立て



写真-3.2.5 鉄筋ユニットのセット

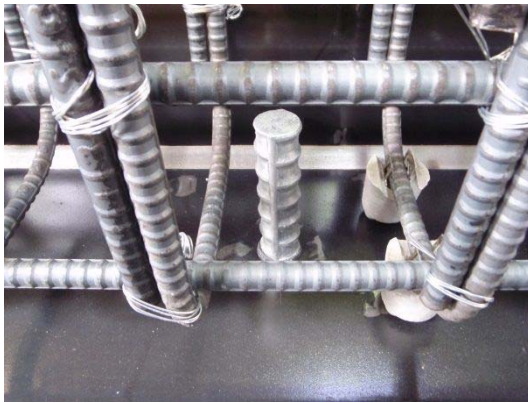


写真-3.2.6 吊インサートの配置



写真-3.2.7 反対側の側型枠の組立て

### 3.3 コンクリートの品質と配合

#### 3.3.1 品質

コンクリートは、早強ポルトランドセメントをベースに高炉スラグ微粉末を添加し、遮塩性、凍結融解抵抗性を高めた高耐久性コンクリートとし、表-3.3.1 に示す品質を有するものを使用する。

表-3.3.1 コンクリートの品質

項目	品質
圧縮強度	40N/mm <sup>2</sup> 以上
高炉スラグ微粉末	単位結合材量（セメント+高炉スラグ）の30%以上
スランプ	15～18cm（±2.5cm）
空気量	4.5%（±1.5%）
塩化物イオン量	原則として0.3kg/m <sup>3</sup> 以下

#### 3.3.2 示方配合

コンクリートの配合は、所要の強度及び耐久性を考慮し、打込み時に適切なワーカビリティを有する範囲で、単位水量をできる限り少なく定める。高炉スラグ微粉末は、JIS A 6206「コンクリート用高炉スラグ微粉末」に適合しているものを使用する。

なお、粗骨材の最大寸法は20mmを標準とする。示方配合例を「第1章 DAK式プレキャスト壁高欄システムの特徴 1.2.2 耐久性の評価方法」の表-1.2.1 に示しているのので、参考にすると良い。

### 3.4 コンクリートの打込み及び養生

#### 3.4.1 コンクリートの打込み

コンクリートの打込みは、鉄筋や付属物の移動及び材料分離が生じないように留意して行う。その状況例を写真-3.4.1に示す。

締固めは、コンクリートが鉄筋の周囲及び型枠のすみずみまで確実に充填されるように行う。

特に、端部のPBL埋設部まわりと、製品取出しインサートや高さ調整治具を埋め込む周辺は、入念に締固めを行う。



写真-3.4.1 打込み状況例

#### 3.4.2 コンクリートの養生

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

常圧蒸気養生は、コンクリート練混ぜ後3時間以上経ってから開始し、1時間につき15℃以下の割合で温度を上げ、最高温度を65℃以下とする。養生状況例を写真-3.4.2に示す。



写真-3.4.2 蒸気養生状況例

### 3.5 製品の取出し及び接合面の処理

#### 3.5.1 製品の取出し

型枠の取外し(脱型)強度は、「コンクリート標準示方書〔施工編〕2012 土木学会」に準拠してコンクリートの圧縮強度が14N/mm<sup>2</sup>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/mm<sup>2</sup>を目安とするのが望ましい。

#### 3.5.2 小口面及び打継ぎ面の処理

プレキャスト壁高欄の両側小口面の処理は、現場施工となるモルタルの付着が良好になるよう、粗面仕上げとする。ワイヤブラシ等による方法もあるが、写真-3.5.1のように、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、間詰めの打継ぎ面となるため、表面のレイタンスや緩んだ骨



写真-3.5.1 小口面の洗出し状況例

材粒等を完全に除去して粗面に仕上げる。

### 3.6 仮置き保管

#### 3.6.1 仮置き保管

仮置き保管は、不等沈下などが生じないような場所を選ぶ。

仮置き保管の状況例を、写真-3.6.1に示す。

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



写真-3.6.1 仮置き保管状況例

#### 3.6.2 露出鋼材の防錆

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

### 3.7 出来形管理

製品の出来形管理として、全数について外観検査及び寸法検査を実施する。

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

寸法検査では、所定の形状寸法を満足していることを確認する。NEXCOの「コンクリート施工管理要領 2-5-2 出来形基準」に示されている許容値を表-3.7.1に示す。要領には、長さの規定はないが、据付け誤差に配慮し±5mm程度とするのがよいとした。

表-3.7.1 寸法の許容誤差

項目	許容値
厚さ	±5mm
高さ	-10mm～+20mm

### 3.8 運搬、搬出

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

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

図-3.8.1には、4mの標準ブロック（SB種）の重量が2.5tf以下のため、10tトラックに4ブロックを積載した例を示す。

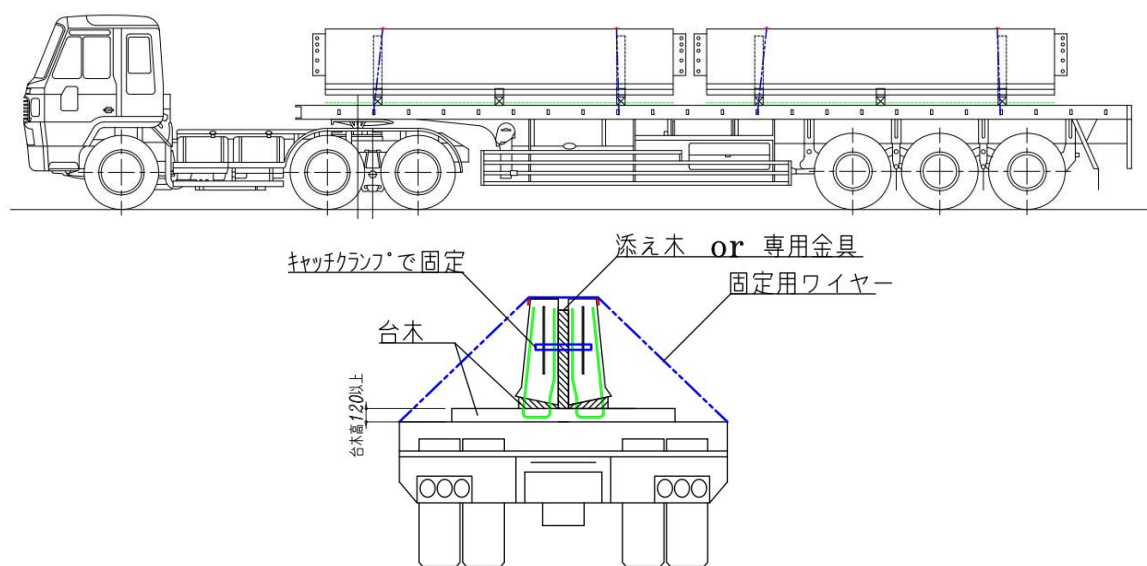


図-3.8.1 製品運搬時の荷姿例

## 第4章 施工

### 4.1 準備工

#### 4.1.1 現地の確認

現場での建込みに先立ち、施工の延長や施工場所の状況を確認する。

写真-4.1.1 は、壁高欄工着手前の状況例で、床版施工用の足場が残置されている場合は、壁高欄工用に適しているかを調査する。



写真-4.1.1 壁高欄工着手前の状況例

#### 4.1.2 プレキャスト壁高欄の搬入計画

工場にて製作したプレキャスト壁高欄をトレーラーや大型トラックなどで現地に搬入する。搬入荷姿例を図-4.1.1に示す。

プレキャスト壁高欄の建込みを円滑に行うため、プレキャスト壁高欄の種類と形状、納入日時、数量、荷卸し場所、日当たりの施工量等を考慮して、プレキャスト壁高欄の受入れを計画する。また、荷卸しや建込みに使用するクレーンなどの揚重機の機種を選定し、建込み順序や据付け場所等も計画しておく。

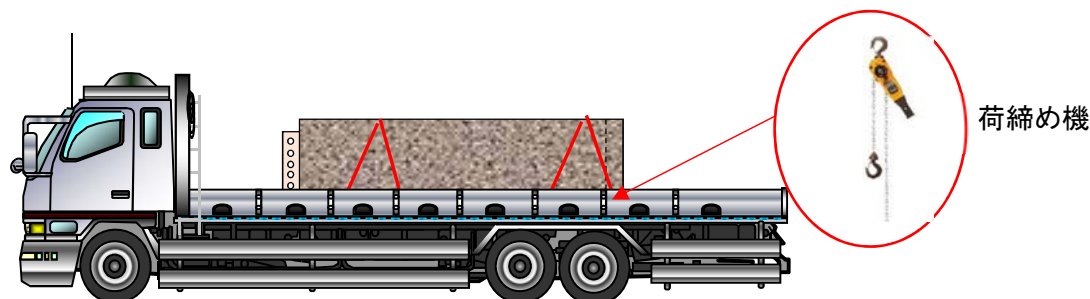


図-4.1.1 搬入荷姿例

### 4.2 プレキャスト壁高欄の荷卸し及び建込み

#### 4.2.1 プレキャスト壁高欄の荷卸し

プレキャスト壁高欄の荷卸しで使用する吊上げ治具の例を写真-4.2.1に、荷卸し状況の例を写真-4.2.2にそれぞれ示す。この吊り上げ治具の例は、プレキャスト壁高欄の天端に取り付ける方法であるが、側面に埋め込んだインサートを使う方法などもある。





写真-4.2.1 吊上げ治具の例



写真-4.2.2 荷卸し状況例

#### 4.2.2 プレキャスト壁高欄の建込み

プレキャスト壁高欄の建込みに先立ち、小口面の片側に写真-4.2.3 に示すようなクッション材を貼り付ける。これは、後で充填するモルタル材の漏れ及び製品同士の衝突を防止することが目的であり、また、プレキャスト壁高欄内に通信管路を配置する場合には、写真-4.2.4 に示すように、パッキン材等を貼り付ける対策が必要である。



写真-4.2.3 クッション材の貼付け例



写真-4.2.4 パッキン材の貼付け例

プレキャスト壁高欄の建込み状況例を写真-4.2.5 に示す。

製品は、橋面の縦断勾配を考慮して設置するため、玉掛けワイヤーの片方にチェーンブロック等を取り付け、勾配の微調整を容易に行えるようにするのが望ましい。



写真-4.2.5 建込み状況例

製品の落とし込み設置では、床版側に配置したループ鉄筋と製品側に配置したループ鉄筋が接触しないよう、**写真-4.2.6** に示すように慎重に誘導する。ループ鉄筋同士の干渉を避けるためには、橋軸方向の移動に制約があるので、**写真-4.2.7** に示すように、基本的には、製品のPBL側を製品の溝側に落とし込むのがよい。



写真-4.2.6 誘導状況例

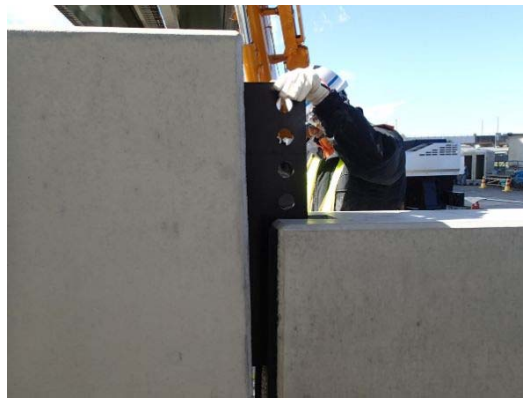


写真-4.2.7 PBL側の落とし込み状況例

#### 4.2.3 高さ調整及び仮固定

高さ調整の方法には、クレーンを使う方法やジャッキを用いる方法などがある。

ジャッキを用いた高さ調整方法の例を**写真-4.2.8** に示す。また、目地部で幅員方向に凹凸がないように、**写真-4.2.9** に示すような方法などで通りの確認を行う。



写真-4.2.8 高さ調整例



写真-4.2.9 通りの確認例

設置寸法の許容誤差は、**表-4.2.1** に示すとおりで、許容誤差以内であることを確認した後、すみやかに**写真-4.2.10** に示すような仮固定を行う。

表-4.2.1 設置寸法の許容誤差

項目	許容値
設置標高	-10 mm～+20 mm
幅員	設計値以上



写真-4.2.10 仮固定の状況例

#### 4.3 間詰めモルタルの使用材料及び試験練り

##### 4.3.1 使用材料

床版とプレキャスト壁高欄との間詰め部に充填するモルタルは、高耐久間詰めモルタルである「リペアメント NS」を用いる。本材料の使用量は、表-4.3.1 に示すとおりであり、品質は、表-4.3.2 に示すように、 $J_{14}$  ロートの流下時間が  $8 \pm 2$  秒を満足するように練混ぜ水量を調整する。なお、圧縮強度及び付着強度の値は、実績例での値である。

表-4.3.1 リペアメント NS の使用量

1袋あたりの使用量			モルタル $1\text{m}^3$ あたり使用量 (25 kg × 75 袋)	
リペアメント NS (kg)	水 (kg)	練上り量 (ℓ)	リペアメント NS (kg)	練混ぜ水 (kg)
25	4.50 (4.25～4.75)	13.4	1,875	338 (319～356)

表-4.3.2 リペアメント NS の品質

フレッシュ性状の目安	圧縮強度 ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )				付着強度 ( $\text{N}/\text{mm}^2$ )
	1日	3日	7日	28日	
$J_{14}$ ロート (秒)					28日
$8 \pm 2$	17.6	31.8	40.4	54.0	2.1

##### 4.3.2 試験練り

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

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

まず、標準水量の 4.5kg 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」を徐々に投入し、写真-4.3.1 に示すように、全量投



写真-4.3.1 試験練りの状況例

入後、2分間混練りする。

コンシステンシー試験を行い、 $8 \pm 2$  秒を満足するように、 $4.5 \pm 0.25$  kg/袋の範囲内で水量を増減させ、所要水量を決定する。

#### 4.4 間詰め部の型枠設置

モルタル材充填時に漏れないよう、型枠が当たる箇所に写真-4.4.1に示すように、養生テープ等を貼り付け、型枠下部にはクッション材等を挿入する。

プレキャスト壁高欄の下端部には、「第3章 3.1.2 隅角部の面取り」の図-3.1.2に示すような形状があり、その形状に合わせて写真-4.4.2及び写真-4.4.3に示すように型枠を設置する。型枠は、パイプサポート、チェーン、ターンパックル等で堅固に固定する。



写真-4.4.1 養生テープの貼付け例



写真-4.4.2 型枠の設置例(1)



写真-4.4.3 型枠の設置例(2)

#### 4.5 モルタル材の仮置き及び本練り

##### 4.5.1 モルタル材の仮置き

製造工場より出荷されたモルタル材「リペアメントNS」は、袋が破損しないように丁寧に荷卸しを行い、写真-4.5.1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。



写真-4.5.1 モルタル材の仮置き例

#### 4.5.2 本練り

本練りは、写真-4.5.2 に示すように、グラウトミキサーを使用して行う。ダマの発生や攪拌の不良を防ぐため、試験練りで決定した所定の水量を先に投入しておき、攪拌しながらモルタル材をゆっくり投入する。モルタル材の飛散防止には、写真-4.5.3 に示すような集塵機が効果的である。ミキサーの底の羽根や側面に固形分が付着していないかを確認しながら全量を投入し、その後 120 秒～180 秒程度練り混ぜる。



写真-4.5.2 混練り状況



写真-4.5.3 超微細粉塵対策型集塵機

本練りのシステム例を図-4.5.1 に示すが、練り時間が作業のクリティカルになるため、必要に応じて、グラウトポンプ 1 台に対してグラウトミキサー 2 台を使用する。

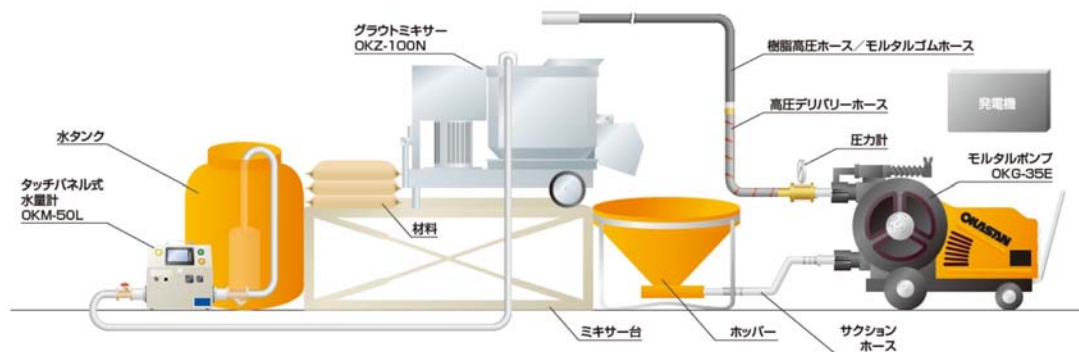


図-4.5.1 本練りのシステム例

#### 4.6 モルタル材の充填

モルタル材の充填方法として、以下の 2 方法を例示する。

##### 4.6.1 モルタル材を圧注する方法

- ① 型枠に予め設けた圧注口に  $\phi 38$  程度の軟質塩化ビニルホースを設置する。
- ② ビニルホースの抜けや型枠の破損、モルタルの漏れが生じないように、モルタルポンプに過大な圧力がかかっていないことを確認しながら、写真-4.6.1 に示すように慎重に圧入を行う。

- ③ ビニルホースは長めに立ち上げ、立ち上げたビニルホース内のモルタルのオーバーフローを確認後、ビニルホースを折り曲げて結束線、番線などにより結束する。充填完了後、水頭差による圧力を作用させるため、写真-4.6.2に示すように、ビニルホースの結束線、番線などを開放する。



写真-4.6.1 モルタル圧注例



写真-4.6.2 水頭圧掛け状態

#### 4.6.2 モルタル材を流下する方法

- ① ホースの筒先を、写真-4.6.3に示すように、プレキャスト壁高欄接合部天端の溝部から挿入し、モルタル材を流下させて間詰め部を横流れさせる。
- ② 隣接する溝部まで横流れしたら、その溝部にホースを移動し、その次の溝部まで横流れさせ、順次繰り返す。
- ③ 横流れの到達確認方法には、写真-4.6.4に示すように、透明型枠の使用などがある。

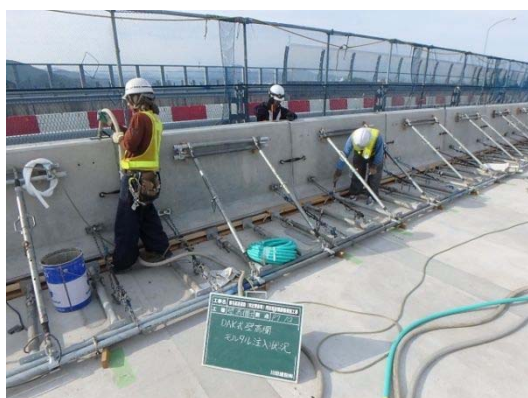


写真-4.6.3 モルタル注入例



写真-4.6.4 背面型枠の設置例

#### 4.7 養生

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

養生期間の目安は、表-4.7.1に示すとおり、その期間は過度な振動や衝撃などを与えないように注意する。

表-4.7.1 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

## 第5章 標準施工工程

### 5.1 標準施工工程算出方法

標準施工工程については、床版取替工事の一般的な橋長を考慮し、橋長 150m（壁高欄は橋梁の両側に施工するものとし、壁高欄施工延長 300m とする）を対象に、DAK 式プレキャスト壁高欄の標準的な施工工程と場所打ち壁高欄の標準的な施工工程の比較を行い、更に、それぞれ、昼間作業と昼夜間作業についても標準的な施工工程の比較を行う事とした。

なお、今回の比較では、壁高欄に遮音壁アンカーを配置することを前提として、また、標準工程の比較は、あくまで、床版施工が終了した時点から壁高欄の施工を開始する条件としている。

以上の条件を考慮し、DAK 式プレキャスト壁高欄の標準施工工程については、①プレキャスト壁高欄搬入、②高さ調整アンカーボルトのセット、③プレキャスト壁高欄の建て込み・仮固定、④間詰めモルタル充填部の型枠・鉄筋設置、⑤間詰めモルタルの充填・養生、⑥間詰め部型枠脱型・表面処理・跡片付けから構成している。

一方、場所打ち壁高欄の標準施工工程については、①鉄筋配置、②型枠配置、③遮音壁アンカー設置、④コンクリート打設、⑤養生、⑥脱型・跡片付けから構成している。

ここでは、高速道路における床版取替工事での施工例を参考に、標準的な施工工程を作成するが、実工事においては、工事の規模、施工条件、施工方法等により適切に施工サイクルを決定する必要がある。

### 5.2 DAK 式プレキャスト壁高欄の標準施工工程

#### 5.2.1 算出条件

DAK 式プレキャスト壁高欄の場合の標準施工工程の算出条件は、以下のとおりである。

- |            |  |
|------------|--|
| ① 工事種別     | : 床版取替工事   |
| ② 壁高欄タイプ   | : NEXCO フロリダ型 SB タイプ                               |
| ③ 高欄延長     | : 橋長 150m（壁高欄延長 300m）                              |
| ④ 橋梁の形状    | : 直線橋  |
| ⑤ 壁高欄ブロック長 | : 標準長として 4.0m                                      |
| ⑥ 施行開始時期   | : 床版施工終了後  |
| ⑦ 施工作业条件   | : 昼間作業（8：00～17：00）<br>昼夜間作業（8：00～17：00+17:00～2:00） |

### 5.2.2 昼間作業の場合

橋長 150m で、壁高欄施工延長が 300m の場合の昼間作業における概略工程を表-5.2.1 に示す。

なお、施工パーティー数や人工等の情報は、表の欄外に示した。

表-5.2.1 DAK 式プレキャスト壁高欄・昼間作業概略工程

工種	日 数																	備考
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
プレキャスト壁高欄搬入	■		■		■		■											
高さ調整アンカーボルトセット	■		■		■		■											
プレキャスト壁高欄建て込み・仮固定	■		■		■		■											
間詰めモルタル充填部型枠・鉄筋配置	■	■	■	■	■	■	■	■	■									
間詰めモルタル充填			■		■		■		■									
モルタル充填部型枠脱型等・跡片付け					■		■		■		■							

・2パーティーで施工  
 ・1パーティー平均5人/日  
 ・5人×11日間×2パーティー≒延べ110人工

標準ブロックを 4.0m とした場合、橋長 150m で壁高欄延長が 300m の場合には、壁高欄の搬入から跡片付けまで、約 11 日間で施工が終了する。

### 5.2.3 昼夜間作業の場合

橋長 150m で、壁高欄施工延長が 300m の場合の昼夜間作業における概略工程を表-5.2.2 に示す。なお、施工パーティー数や人工等の情報は、表の欄外に示した。

表-5.2.2 DAK 式プレキャスト壁高欄・昼夜間作業概略工程

工種	日 数																	備考
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
プレキャスト壁高欄搬入	■		■															
高さ調整アンカーボルトセット	■		■															
プレキャスト壁高欄建て込み・仮固定	■		■															
間詰めモルタル充填部型枠・鉄筋配置	■	■	■	■	■	■	■	■	■									
間詰めモルタル充填			■		■		■											
モルタル充填部型枠脱型等・跡片付け					■		■											

・2パーティーで施工  
 ・1パーティー平均5人/日  
 ・5人×7日間×2パーティー×2(昼夜間)≒延べ140人工



標準ブロックを4.0mとした場合、橋長150mで壁高欄延長が300mの場合には、壁高欄の搬入から跡片付けまで、約7日間で施工が終了する。

### 5.3 場所打ち壁高欄の標準施工工程

#### 5.3.1 算出条件

場所打ち壁高欄の場合の標準施工工程の算出条件は、以下のとおりである。

- ① 工事種別 : 床版取替工事
- ② 壁高欄タイプ : NEXCO フロリダ型 SB タイプ
- ③ 壁高欄延長 : 橋長150m (壁高欄延長300m)
- ④ 橋梁の形状 : 直線橋
- ⑤ 施行開始時期 : 床版施工終了後
- ⑥ 施工作业条件 : 昼間作業 (8:00~17:00)  
昼夜間作業 (8:00~17:00+17:00~2:00)

#### 5.3.2 昼間作業の場合

橋長150mで、壁高欄施工延長が300mの場合の昼間作業における概略工程を表-5.3.1に示す。なお、施工パーティー数や人工等の情報は、表の欄外に示した。

表-5.3.1 場所打ち壁高欄・昼間作業概略工程

工種	日数																	備考
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
鉄筋配置	■	■					■	■										
型枠配置		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■					
遮音壁アンカー設置					■	■	■					■	■					
コンクリート打設							■						■					
養生							■	■	■	■	■			■	■	■	■	
脱型・跡片付け												■						■

・2パーティーで施工  
 ・1パーティー平均10人/日  
 ・10人×17日間×2パーティー=延べ340人工

橋長150mで壁高欄延長が300mの場合には、鉄筋配置から跡片付けまで、約17日間で施工が終了する。

### 5.3.3 昼夜間作業の場合

橋長 150m で、壁高欄施工延長が 300m の場合の昼夜間作業における概略工程を表-5.3.2 に示す。なお、施工パーティー数や人工等の情報は、表の欄外に示した。

表-5.3.2 場所打ち壁高欄・昼夜間作業概略工程

工種	日数																	備考
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
鉄筋配置	■	■																
型枠配置		■	■	■	■	■												
遮音壁アンカー設置					■	■												
コンクリート打設							■											
養生								■	■	■								
脱型・跡片付け											■							

・2パーティーで施工  
 ・1パーティー平均10人/日  
 ・10人×11日間×2パーティー×2（昼夜間）≒延べ440人工

橋長 150m で壁高欄延長が 300m の場合には、鉄筋配置から跡片付けまで、約 11 日間で施工が終了する。

### 5.4 DAK 式プレキャスト壁高欄と場所打ち壁高欄の概略工程相対比較

橋長 150m で壁高欄延長が 300m の場合、表-5.2.1、表-5.2.2、表-5.3.1 及び表 5.3.2 を基に、DAK 式プレキャスト壁高欄と場所打ち壁高欄につて、施工日数と人工数の相対比較を表-5.4.1 に示す。

表-5.4.1 DAK 式プレキャスト壁高欄と場所打ち壁高欄の概略工程等相対比較

壁高欄の種別	昼間作業			昼夜間作業		
	パーティー数	施工日数(日)	人工数(人工)	パーティー数	施工日数(日)	人工数(人工)
DAK 式プレキャスト壁高欄	2	11	110	2	7	140
場所打ち壁高欄	2	17	340	2	11	440

注) パーティー数と人工数の関係

①DAK 式プレキャスト壁高欄 : 1 パーティー⇒平均 5 人/日

②場所打ち壁高欄 : 1 パーティー⇒平均 10 人/日

比較結果から、以下の事が分かる。

① 昼間作業での相対比較

- ・施工日数では、DAK 式プレキャスト壁高欄の方が場所打ち壁高欄に比べ、約 35%の工期短縮が図れる。
- ・人工数では、DAK 式プレキャスト壁高欄の方が場所打ち壁高欄に比べ、68%の人員削減が図れる。

② 昼夜間作業での相対比較

- ・施工日数、人工数とも、DAK 式プレキャスト壁高欄では、場所打ち壁高欄に比べ、昼間作業の場合とほぼ同様な結果となった。

③ DAK 式プレキャスト壁高欄の場合の昼間作業と昼夜間作業での相対比較

- ・DAK 式プレキャスト壁高欄の場合の昼間作業と昼夜間作業での相対比較では、昼夜間作業の方が昼間作業に比べ、施工日数で 36%の工期短縮が図れ、人工数で 22%の削減が図れる。

## 5.5 まとめ

床版取替工事での施工例を参考に、DAK 式プレキャスト壁高欄と場所打ち壁高欄における概略工程について比較検討を行った。

比較結果から、DAK 式プレキャスト壁高欄は、場所打ち壁高欄に比べ、かなり工期短縮に寄与できることが分かる。

しかしながら、概略工程の算出条件は、標準的なものとしており、DAK 式プレキャスト壁高欄の搬入場所や仮置き状況によって、搬入から建込みの施工数量が変動すると考えられ、また、橋梁の平面線形の有無、プレキャスト PC 床版の形状(壁高欄施工部の嵩上げ等)、あるいは間詰めモルタル充填部の型枠形状や型枠設置方法の相違によって、間詰めモルタル充填方法等が異なる事が考えられ、それらの要因が施工日数、施工数量及び人工数に影響すると考えられる。一方、場所打ち壁高欄においては、プレキャスト PC 床版の架設・設置に伴って、順次、壁高欄の鉄筋組立が可能な場合があるため、表-5.3.1 及び表-5.3.2 に示した施工日数が削減できる可能性もある。

従って、実工事においては、工事の規模、施工条件、施工方法等により適切に施工サイクルを検討して決定する必要があるが、今後の床版取替工事を見据えた場合、DAK 式プレキャスト壁高欄は、少なくとも工期短縮策の一つに挙げられよう。

## 第6章 今後の課題

本ガイドラインは、DAK 式プレキャスト壁高欄工法を採用頂くために纏めたものである。

内容的には、これまでの開発段階で得られたノウハウや施工実績で得られたノウハウをベースに、あくまでも、DAK 式プレキャスト壁高欄の設計・施工ガイドラインとして、タイトルの如く、今後、急速施工方法の一つの手段として計画頂く上で必要と思われる、主に構造の特徴、耐久性、構造詳細、設計方法、施工方法及び標準工程に着目して纏めた。

但し、計画頂く上で必要な施工費に関わる歩掛り等については、施工実績も少なく、DAK 式プレキャスト壁高欄の施工延長、使用機材等によっても、標準的な施工費を算出するのが困難だったため、現時点では、その都度、積算頂ければ幸いである。今後、施工実績が多くなれば、再度、施工費についても検討する事にしたい。

また、DAK 式プレキャスト壁高欄で、特に検討が必要と思われるのが、床版と壁高欄の接合構造の詳細である。前述した通り、実績も少ないため、標準的な接合構造を提案するところまで至っていないが、これには、以下の要因がある。

### ① プレキャスト PC 床版の端部形状

床版取替工事で一般的に採用されるプレキャスト PC 床版の端部形状で、「第2章 設計」の「2.4 床版と壁高欄接合部の構造」で述べているが、主に、水切り部の構造の考え方、端部床版の嵩上げ高さの考え方や違いによって、床版に配置されるループ鉄筋の形状や配置方法を検討する必要がある。場所打ち PC 床版の場合においても、水切り部の構造の考え方を検討する必要がある。

### ② 間詰め部を含めた鉄筋のコンクリート及びモルタルのかぶり

DAK 式プレキャスト壁高欄システムは、基本、プレキャスト壁高欄同士及びコンクリートと床版との接合部に充填される高耐久間詰めモルタルで構成されるため、鉄筋のかぶりをどの程度確保するかによって、鉄筋配置の検討が必要になる。こちらも、「第2章 設計」の「2.4 床版と壁高欄接合部の構造」で述べているとおりであり、壁高欄と床版に配置される主鉄筋と配力鉄筋（斜め筋）の組合せの配置検討が必要になる。

### ③ 壁高欄部下端の断面形状

上記②でも述べたが、工期短縮のために必要な事は、現場での場所打ち部を極力少なくする事である。壁高欄同士の橋軸方向接合部については、PBL を用いて、現場施工範囲を極小化しているが、一方で、床版と壁高欄の接合部の断面が若干大きいことが挙げられる。これは、施工性を考慮してループ継手を採用したことにあるが、場所打ち部を小さくする方法として、特に、この接合部の断面を小さくする方法がある。この一つの考えを採用した実績を参考資料「4. DAK 式プレキャスト壁高欄と各種床版との接合例」の中に示したが、それは、プレキャスト壁高欄の下面前面に部分的に袴を付ける方法である。この方法を採用すれば、前面型枠の設置や間詰め充填量の減少という優位性がある一方、コンクリートかぶりが大きくなると、主鉄筋と配力鉄筋（斜め筋）の配置上、この袴を付け辛いのも事

実である。したがって、今後は間詰め充填量を少なくする方法の検討を進める必要があるかも知れない。

このように、まだまだ検討すべき事項があるものの、基本的な考え方については、網羅したつもりである。

今後、実績の増加に伴って、改訂版を発刊する計画ではあるが、今後の老朽化した社会インフラの改修等の整備に十分資する内容になっていると思われるので、是非、参考にして頂ければ幸いである。



## 参 考 資 料

1. 耐久性評価の具体検討例
2. 壁高欄（SB 種）同士の接合部の標準設計例
3. PBL 孔のモルタルのせん断耐力の評価方法
4. DAK 式プレキャスト壁高欄と各種床版との接合例
5. DAK 式プレキャスト壁高欄接合部の安全性に関する検討
6. Q&A
7. DAK 式壁高欄に関する論文





## 1. 耐久性評価の具体検討例

### 1.1 耐久性の考え方

耐久性とは、DAK 式プレキャスト壁高欄システムの全国での採用を期し、冬季の融雪剤による塩害に対する遮塩性能に対する耐久性とし、プレキャスト壁高欄本体と高耐久間詰めモルタルについて、それぞれの耐久性を評価するものである。

DAK 式プレキャスト壁高欄システムとしての性能については、「第 1 章 DAK 式プレキャスト壁高欄システムの特徴 1.3 使用材料の要求性能」を参照する事とするが、DAK 式プレキャスト壁高欄は、早強ポルトランドセメントをベースに、塩害に有効とされる高炉スラグ微粉末（比表面積 4000 以上）を 30%以上置換しており、一方、高耐久間詰めモルタル（商品名：リペアメント NS）は、プレキャスト壁高欄と同等あるいはそれ以上の遮塩性を発揮できるよう、高炉スラグ微粉末を 14%以上置換している。

DAK 式プレキャスト壁高欄システムの遮塩性に対する耐久性評価では、予め JSCE-G572「浸せき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（案）」に準じて、Cl 濃度分布曲線から、Fick の第 1 法則が成り立つという仮定より、Fick の第 2 法則に基づいた拡散方程式を用いて評価している。

### 1.2 耐久性の評価方法

耐久性の具体的な評価については、先ず、事前に実施した DAK 式プレキャスト壁高欄と高耐久間詰めモルタルの塩分浸透履歴が基本となる。

その後、既存の場所打ち壁高欄の塩分浸透履歴の実測値より、Fick の第 2 法則を用い、見掛けの拡散係数の評価を行い、DAK 式プレキャスト壁高欄を含めた耐久性の評価を行った。

DAK 式プレキャスト壁高欄システムにおける塩分浸漬試験は、電子線マイクロアナライザ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（案）」にしたがい実施した。なお、EPMA 法では、DAK 式プレキャスト壁高欄と高耐久間詰めモルタルの両材料に対し実施した。その結果、プレキャスト壁高欄の見掛けの拡散係数の平均値が、182 日間の浸漬結果で  $D_{ap}=0.534\text{cm}^2/\text{年}$  となり、一方、高耐久間詰めモルタルでは、371 日間の浸漬結果で  $D_{ap}=0.281\text{cm}^2/\text{年}$  となった。なお、EPMA 法で試験した試験体は、ひび割れのない試験体である。

ここで、基本的な耐久性の評価は、DAK 式プレキャスト壁高欄で実施する事としたが、高耐久間詰めモルタルについても、見かけの拡散係数から耐久性について述べることにした。

耐久性の評価に関する検討フローは、図-参 1.1 によった。

ただし、場所打ち壁高欄の遮塩性の評価に用いた見掛けの拡散係数は、土木学会で 2012 年に制定した「コンクリート標準示方書 [設計編：標準] 2.1.4.2 コンクリートの塩化物イオン拡散係数の設定」の方法に準じた。

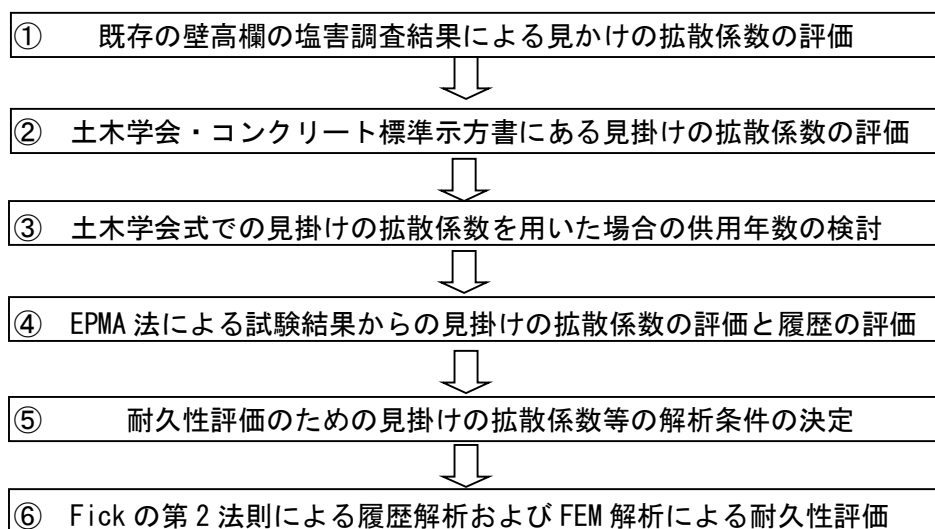


図-参 1.1 耐久性評価の検討フロー

図-参 1.1 の検討過程のそれぞれの内容について、以下に詳述する。

(1) 既存の場所打ち壁高欄の塩害調査結果による見掛けの拡散係数の評価

NEXCO 管内で、過去に塩害劣化した場所打ち壁高欄の塩分浸透履歴を調査した 3 橋の実測結果を表-参 1.1 に示す。

表-参 1.1 塩害劣化した場所打ち壁高欄の塩分調査結果

橋梁名	供用年 (年)	供用期間 (年)	平均塩化物イオン濃度 (kg/m <sup>3</sup> ) 【測定値】				
			0-20 (mm)	20-40 (mm)	40-60 (mm)	60-80 (mm)	80-100 (mm)
A-橋	1985	25	5.564	6.327	2.743	1.098	0.672
B-橋	1993	16	5.205	6.225	3.892	1.646	----
C-橋	1974	35	6.187	5.812	3.217	2.285	----

以上の結果から、式-参 1.1 による Fick の第 2 法則を用い、表-参 1.1 の実測値からフィッティング曲線を描くと、図-参 1.2 のとおりとなる。この計算結果から、コンクリート表面の全塩化物イオン濃度、見掛けの拡散係数及び初期全塩化物イオン濃度は、それぞれ表-参 1.2 のとおりとなる。

$$C(x, t) = C_{a0} \left\{ 1 - \operatorname{erf} \left( \frac{x}{2\sqrt{D_{ap} \cdot t}} \right) \right\} + C_i \quad \text{式-参 1.1}$$

ここに、 $C(x, t)$  : 任意のかぶり深さと経過年数時の塩化物イオン濃度 (kg/m<sup>3</sup>)  
 $C_{a0}$  : コンクリート表面の全塩化物イオン濃度 (kg/m<sup>3</sup>)  
 $x$  : 計測するかぶり深さ (cm)

$D_{ap}$  : 塩化物イオンの見掛けの拡散係数 (cm<sup>2</sup>/年)  
 $t$  : 経過時間 (年)  
 $C_i$  : コンクリートの単位質量あたりの初期全塩化物イオン濃度 (kg/m<sup>3</sup>)

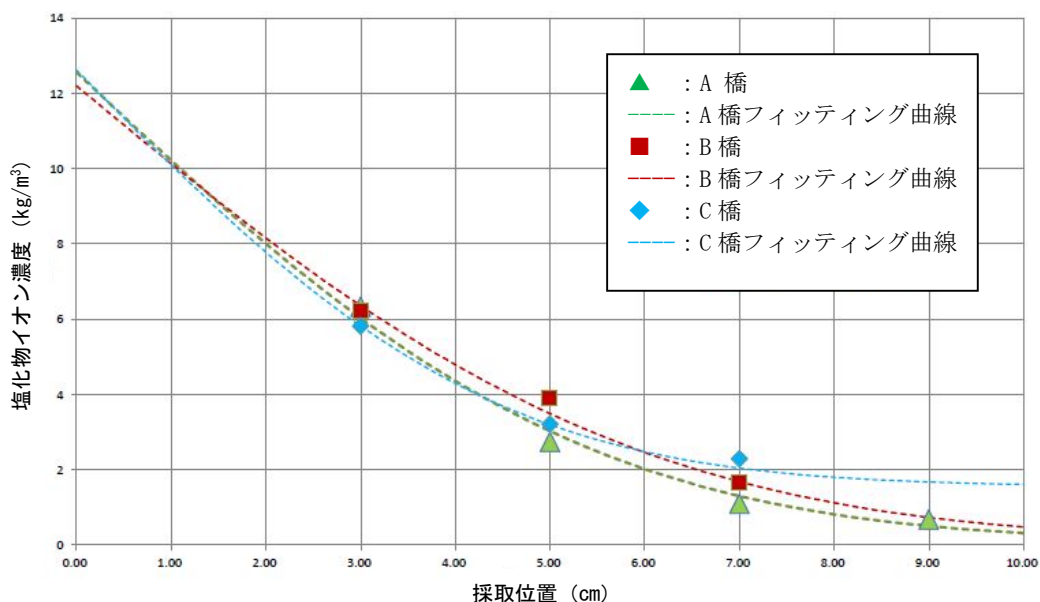


図-参 1.2 実測値と Fick の第 2 法則を用いたフィッティング曲線の関係

表-参 1.2 各橋梁のコンクリート表面の全塩化物イオン量、見掛けの拡散係数および初期全塩化物イオン量の計算結果一覧

橋梁名	時間 (着目年) $t$ (年)	コンクリート表面の全塩化物イオン濃度 $C_{ao}$ (kg/m <sup>3</sup> )	見掛けの拡散係数 $D_{ap}$ (cm <sup>2</sup> /年)	初期全塩化物イオン量 $C_i$ (kg/m <sup>3</sup> )
A 橋	25	12.46	0.354	0.10
B 橋	16	12.10	0.670	0.10
C 橋	35	11.05	0.170	1.57

表-参 1.2 の結果を基に、各橋梁の見掛けの拡散係数と経過時間 (年) との関係を図化し、更に、その関係をフィッティング曲線として表すと図-参 1.3 のとおりとなる。

これらの見掛けの拡散係数と経過時間 (年) に関する相関性について、以下の参考文献によると、経過時間 (年) の増加に伴って、見掛けの拡散係数の値が相対的に小さくなる傾向を示しており、図-参 1.3 の各橋梁の実測値から得られた拡散係数と経過時間 (年) の関係も同様な傾向にあるため、この傾向は、妥当であると評価できる。

参考文献

- 1) 川村満紀他、「現場技術者のための塩害対策ノート」中日本ハイウェイ・エンジニアリング名古屋 (株)
- 2) 和泉意登志、「コンクリートの劣化と補修がわかる本 Plus」セントジャーナル社、2010 年 6 月

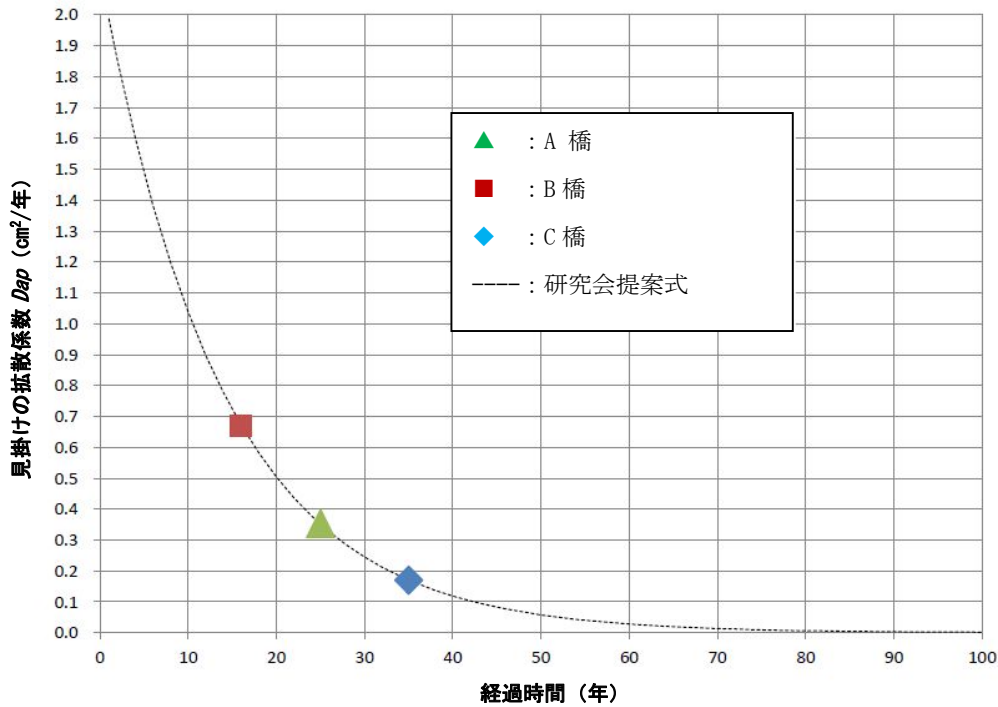


図-参 1.3 経過時間と見掛けの拡散係数の関係

図-参 1.3 のフィッティング曲線は、あくまでも既存の場所打ち壁高欄の塩化物イオン濃度の実測値を基本とした曲線であることを明記しておく。

このフィッティング曲線は、コンクリート標準示方書（土木学会）に規定されている普通ポルトランドセメントを用いた場合の塩化物イオンの拡散係数式を基本に、式-参 1.2 に示すとおり、コンクリートの水セメント比を基本としたフィッティング曲線として提案するもので、この場合、拡散係数は、100 年で 0 に近づくと仮定している。

$$\log_{10} D_c(t) = \left( 3.0 \cdot \left( \frac{W}{C} \right) - 1.8 \right) \cdot (0.1045 \cdot t - 1.098) \quad \text{式-参 1.2}$$

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

## (2) 場所打ち壁高欄のコンクリート標準示方書に準じた見掛けの拡散係数の評価

次に、「コンクリート標準示方書 [設計編：標準] (土木学会 2012 年制定)」で規定されている塩化物イオンの拡散係数の計算を行う。

一般的に、普通ポルトランドセメントを用いた従来の場所打ち壁高欄では、見掛けの拡散係数 ( $D_k$ ) は、式-参 1.3 で計算される。

$$\log_{10} D_k = 3.0 (W/C) - 1.8 \quad (0.30 \leq W/C \leq 0.55) \quad \text{式-参 1.3}$$

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

ここで、既存の場所打ち壁高欄に用いているコンクリートの水セメント比( $W/C$ )は、調査によると、概ね0.47~0.54の範囲にあることから、水セメント比として、その平均的な値として $W/C=0.5$ を用いると、式-参 1.3 より、見掛けの拡散係数は、 $D_k=0.501\text{cm}^2/\text{年}$ となる。

### (3) 土木学会式での見掛けの拡散係数を用いた場合の経過時間(年)の検討

コンクリート標準示方書(土木学会)に規定されている式-参 1.3 から計算された見掛けの拡散係数は、 $D_k=0.501\text{cm}^2/\text{年}$ となることから、既存の壁高欄の見掛けの拡散係数のフィッティング曲線式(式-参 1.2)にこの値を代入すると、経過時間(年)は、図-参 1.4 に示すとおり、ほぼ20年となる。これより、土木学会式から計算される見掛けの拡散係数 $D_k=0.501\text{cm}^2/\text{年}$ は、コンクリート部材が20年間塩害にさらされたときの見かけの拡散係数に相当すると評価できる。

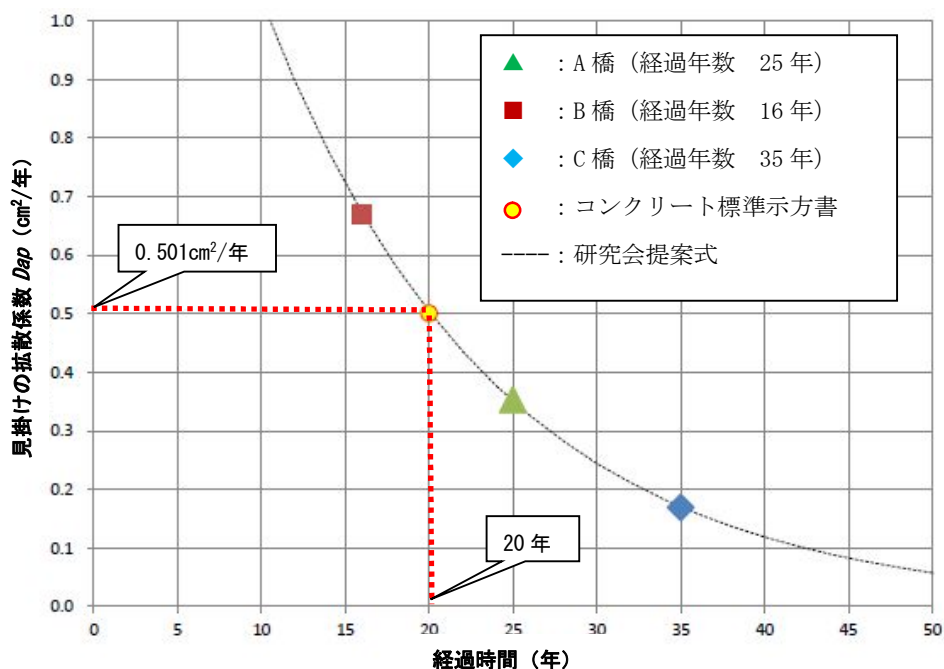


図-参 1.4 場所打ち壁高欄の見掛けの拡散係数と土木学会式による見掛けの拡散係数の関係

したがって、DAK 式プレキャスト壁高欄の遮塩性を評価するための見掛けの拡散係数の対象経過時間(年)は、20年と想定できるため、この20年を用いて耐久性の検討をおこなうこととした。

#### (4) EPMA 法による DAK 式プレキャスト壁高欄の見掛けの拡散係数の評価

DAK 式プレキャスト壁高欄は、早強ポルトランドセメントをベースに、塩害に有効とされる高炉スラグ微粉末(比表面積 4000 以上)を 30%以上置換し、設計基準強度 ( $\sigma_{ck}$ ) を 40N/mm<sup>2</sup> 以上としている。表-参 1.3 に、その配合例の概要を示す。この場合、高炉スラグ微粉末の混入率は 30%で、水セメント比は 40%である。

表-参 1.3 DAK 式プレキャスト壁高欄の示方配合例

粗骨材 の 最大寸法 (mm)	スランプ の 範囲 (cm)	空気量 の 範囲 (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )					
			水 W (kg)	セメント C (kg)	細骨材 S (kg)	粗骨材 G (kg)	高性能 減水剤 SP(kg)	高炉スラグ BF (kg)
20	15±2.5	4.5±1.5	150	263	835	968	1.88	113

EPMA 法による試験結果から、前述のように、DAK 式プレキャスト壁高欄では、浸漬期間 182 日間で見掛けの拡散係数が  $D_{ap}=0.534\text{cm}^2/\text{年}$ 、また、高耐久間詰めモルタルでは、浸漬期間 371 日間で見掛けの拡散係数は  $D_{ap}=0.281\text{cm}^2/\text{年}$ であったことから、場所打ち壁高欄の場合の図-参 1.4 のフィッティング曲線と相似させると、DAK 式プレキャスト壁高欄と高耐久間詰めモルタルのフィッティング曲線は、それぞれ図-参 1.5 のように描ける。

勿論、EPMA 法による試験結果は、ひび割れの無い試験体での結果である。

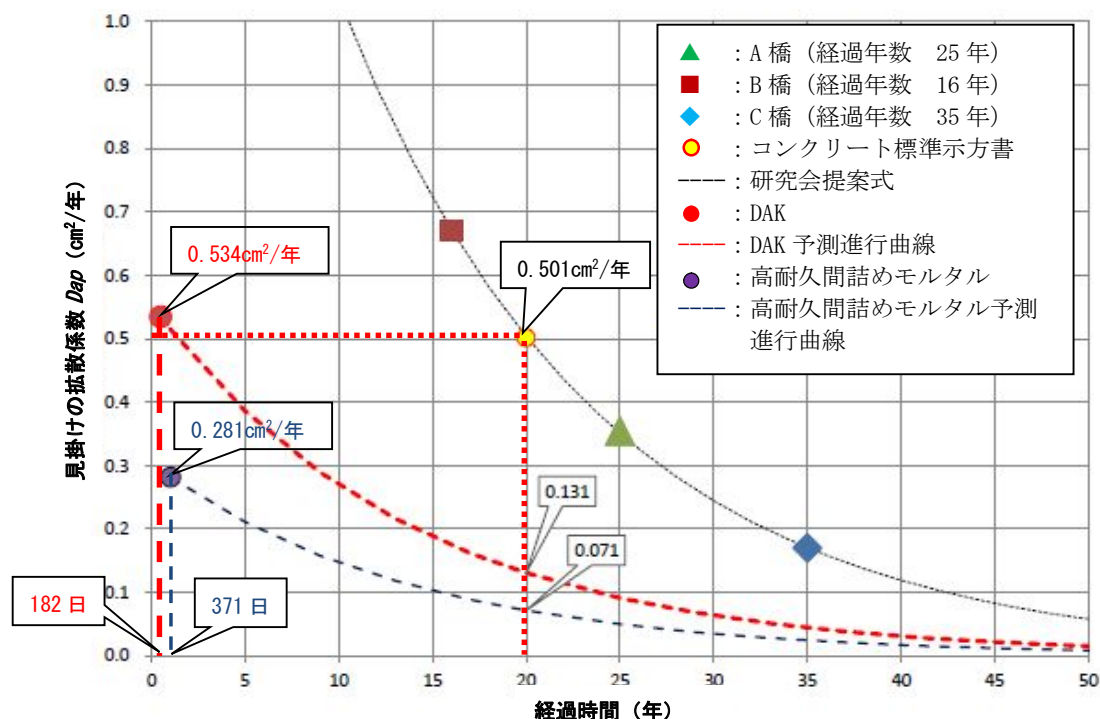


図-参 1.5 DAK 式プレキャスト壁高欄、高耐久間詰めモルタルの見掛けの拡散係数

ここで、**図-参 1.5** に示す DAK 式プレキャスト壁高欄及び高耐久間詰めモルタルのフィッティング曲線の作成方法は、以下のとおりとした。

先ず、DAK 式プレキャスト壁高欄の浸漬試験 182 日を基本として、**式-参 1.2** の場所打ち壁高欄の提案式から、182 日に対する見掛けの拡散係数を計算すると、 $2.060\text{cm}^2/\text{年}$ となる。一方、DAK 式プレキャスト壁高欄の場合、EPMA 法の結果から、182 日での見掛けの拡散係数は  $0.534\text{cm}^2/\text{年}$ であることから、DAK 式プレキャスト壁高欄の見掛けの拡散係数曲線は、両者の見掛けの拡散係数の比 ( $\alpha = 0.534/2.060 = 0.25918$ ) を、場所打ち壁高欄の見掛けの拡散係数曲線の値に乘じることで算出したものである。

次に、高耐久間詰めモルタルのフィッティング曲線については、材料はモルタルであるが、DAK 式プレキャスト壁高欄の場合と同様な手法で見かけの拡散係数曲線を描いた。

それらの結果、経過年数 (年) 20 年に相当する場所打ち壁高欄、DAK 式プレキャスト壁高及び高耐久間詰めモルタルの各見掛けの拡散係数を**図-参 1.5** より整理すると、**表-参 1.4** のとおりとなる。

**表-参 1.4 経過年数 (年) 20 年に相当する各材料の見掛けの拡散係数**

	場所打ち壁高欄	DAK 式プレキャスト壁高欄	高耐久間詰めモルタル
経過年数 (年)	20	20	20
見掛けの拡散係数 ( $\text{cm}^2/\text{年}$ )	0.501	0.131	0.071

#### (5) 耐久性評価のための見掛けの拡散係数等の解析条件の決定

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

##### ① コンクリート表面の全塩化物イオン濃度 ( $C_{ao}$ )

既存の場所打ち壁高欄の塩分浸透履歴 (**図-参 1.2**) のフィッティング曲線の結果では、コンクリート表面塩化物イオン濃度は、ほぼ  $12.0\text{kg}/\text{m}^3 \sim 13.0\text{kg}/\text{m}^3$  の間にあること、また、コンクリート標準示方書 (土木学会) に規定される**表-参 1.5** のコンクリート表面塩化物イオン濃度  $C_o$  の分類から、コンクリート表面の全塩化物イオン濃度については、より危険側の環境条件となるよう塩分飛沫帯の区分濃度を用いることとし、 $C_{ao} = 13.0\text{kg}/\text{m}^3$  と設定した。これにより、コンクリート表面が常時この塩化物イオン濃度にさらされている環境条件であると設定した。

**表-参 1.5 コンクリート表面塩化物イオン濃度  $C_o$  ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )**

		飛沫帯	海岸からの距離 (km)				
			汀線付近	0.1	0.25	0.5	1.0
飛来塩分が多い地域	北海道, 東北, 北陸, 沖縄	13.0	9.0	4.5	3.0	2.0	1.5
飛来塩分が少ない地域	関東, 東海, 近畿, 中国, 四国, 九州		4.5	2.5	2.0	1.5	1.0

## ② 見掛けの拡散係数 ( $D_{ap}$ ) の設定

DAK 式プレキャスト壁高欄の見掛けの拡散係数は、表-参 1.4 より、 $D_{ap}=0.131\text{cm}^2/\text{年}$ と設定する。一方、場所打ち壁高欄の場合は、 $D_{ap}=0.501\text{cm}^2/\text{年}$ である。

## ③ コンクリートの単位質量あたりの初期全塩化物イオン濃度 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

DAK 式プレキャスト壁高欄の耐久性の評価に用いるコンクリートの単位質量あたりの初期全塩化物イオン濃度は、EPMA 法による結果を基本に、 $C_i$ を  $0.1\text{kg}/\text{m}^3$ と設定する。一方、場所打ち壁高欄の場合は、表-参 1.2 の試験結果を基に、 $C_i$ を  $0.1\text{kg}/\text{m}^3$ と設定した。

## ④ 鋼材腐食発生限界濃度

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

本検討では、鉄筋位置での許容塩化物イオン濃度を「コンクリート標準示方書 [設計編：標準] (土木学会 2012 年制定)」の規定による鋼材腐食発生限界濃度 ( $C_{lim}$ ) とした。

DAK 式プレキャスト壁高欄の場合は、早強ポルトランドセメントをベースとしていることから、鋼材腐食発生限界濃度 ( $C_{lim}$ ) は式-参 1.4 で計算できる。

$$C_{lim} = -2.2 (W/C) + 2.6 \quad (0.30 \leq W/C \leq 0.55) \quad \text{式-参 1.4}$$

ここに、 $C_{lim}$ : 鋼材腐食発生限界濃度 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$W/C$ : 水セメント比 (=0.4)

DAK 式プレキャスト壁高欄の水セメントは、表-参 1.3 の配合例より、 $W/C=0.4$ であるため、鋼材腐食発生限界濃度 ( $C_{lim}$ ) は、 $C_{lim}=-2.2 \times 0.4+2.6=1.72\text{kg}/\text{m}^3$ となる。

したがって、耐久性は、鉄筋位置で鋼材腐食発生限界濃度に到達する経過時間 (年) を Fick の第 2 法則を用いて解析することで評価することとした。

参考までに、DAK 式プレキャスト壁高欄は、高炉スラグ微粉末を 30%混合していることから、高炉セメント B 種相当の場合の鋼材腐食発生限界濃度を計算すると、 $C_{lim}=2.06\text{kg}/\text{m}^3$ となる。

一方、場所打ち壁高欄の場合、普通ポルトランドセメントをベースとしている事から、コンクリート標準示方書 (土木学会) の規定による鋼材腐食発生限界濃度 ( $C_{lim}$ ) は、式-参 1.5 で計算できる。

$$C_{lim} = -3.0 (W/C) + 3.4 \quad (0.30 \leq W/C \leq 0.55) \quad \text{式-参 1.5}$$

ここに、 $C_{lim}$ : 鋼材腐食発生限界濃度 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$W/C$ : 水セメント比 (=0.5)



以上より、 $C_{lim} = -3.0 \times 0.5 + 3.4 = 1.90 \text{ kg/m}^3$  となる。

ここで、耐久性評価のための解析条件を纏めると、表-参 1.6 のとおりとなる。

表-参 1.6 耐久性評価のための解析条件

壁高欄の種類	①コンクリート表面の全塩化物イオン濃度 ( $C_{ao}$ ) ( $\text{kg/m}^3$ )	②見掛けの拡散係数 ( $D_{ap}$ ) ( $\text{cm}^2/\text{年}$ )	③初期全塩化物イオン濃度 ( $C_i$ ) ( $\text{kg/m}^3$ )	④鋼材腐食発生限界濃度 ( $C_{lim}$ ) ( $\text{kg/m}^3$ )
DAK 式プレキャスト壁高欄	13.0	0.131	0.1	1.72
既存の場所打ち壁高欄	13.0	0.501	0.1	1.90

なお、コンクリート表面の全塩化物イオン濃度については、塩害で最も厳しい条件を設定している。

### 1.3 耐久性の評価

表-参 1.6 に示す解析条件を基に、DAK 式プレキャスト壁高欄及び既存の場所打ち壁高欄の耐久性について、見掛けの拡散係数を一定として、Fick の第 2 法則に則った浸透履歴計算を行った。なお、FEM 解析については、図-参 1.6 に示すように、壁高欄表面から、コンクリート表面の全塩化物イオン濃度  $C_{ao} = 13.0 \text{ kg/m}^3$  が、表-参 1.6 に示す見掛けの拡散係数（一定値）を有する浸透履歴に伴って浸透するとし、また、壁高欄は、橋軸方向に連続構造で、コンクリート表面からの浸透履歴は、橋軸方向に変化しないと仮定した。

Fick の第 2 法則に従った FEM 解析は、非定常解析となり、汎用 FEM 解析プログラムで塩分浸透解析を行う場合には熱伝導解析機能を利用することになる。したがって、本解析では、2次元の FEM 解析モデルとし、NASTRAN の熱伝オプション機能を塩分浸透解析用にカスタマイズした非定常の浸透解析を実施した。

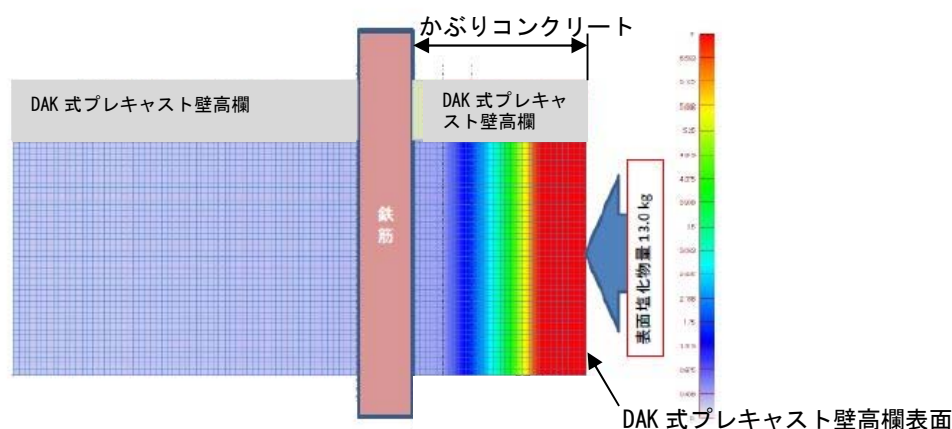


図-参 1.6 FEM 解析の解析モデル図

耐久性の評価では、壁高欄の主鉄筋までのコンクリートかぶりを変化させ、70mm、50mm 及び 30mm について 3 ケース解析した。それらの結果を図-参 1.7 及び図-参 1.8 にそれぞれ示す。

図-参 1.7 は、DAK 式プレキャスト壁高欄の場合のかぶり 70mm、50mm 及び 30mm のそれぞれの耐久性の評価を示し、図-参 1.8 は、場所打ち壁高欄の場合のかぶり 70mm、50mm 及び 30mm のそれぞれの耐久性の評価を示す。

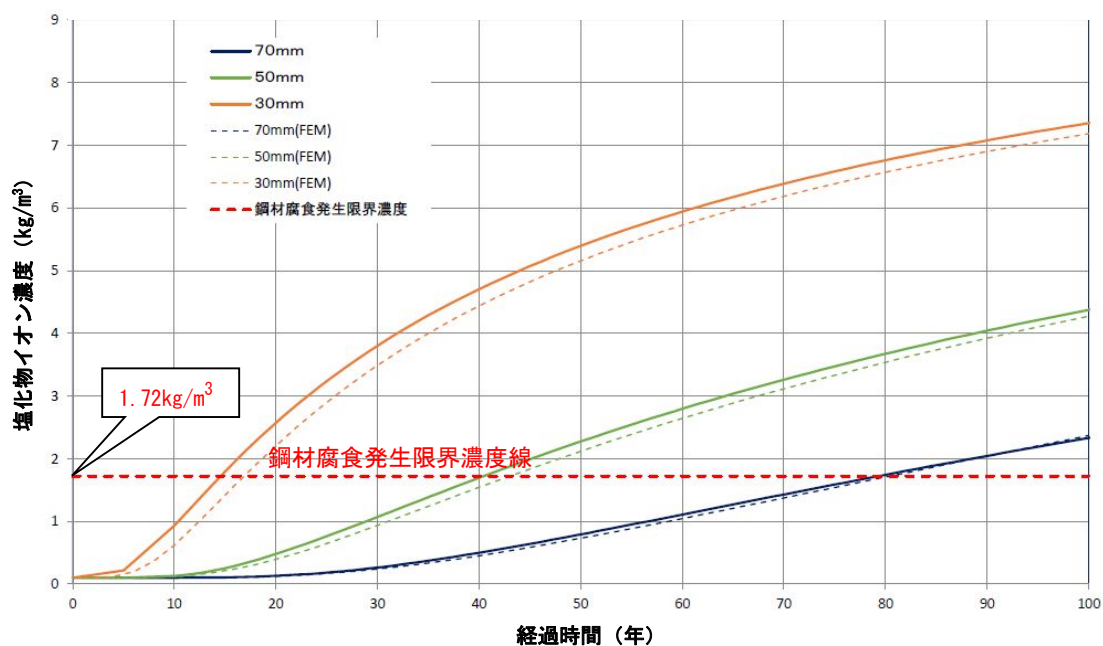


図-参 1.7 DAK 式プレキャスト壁高欄のコンクリートかぶり別耐久性評価

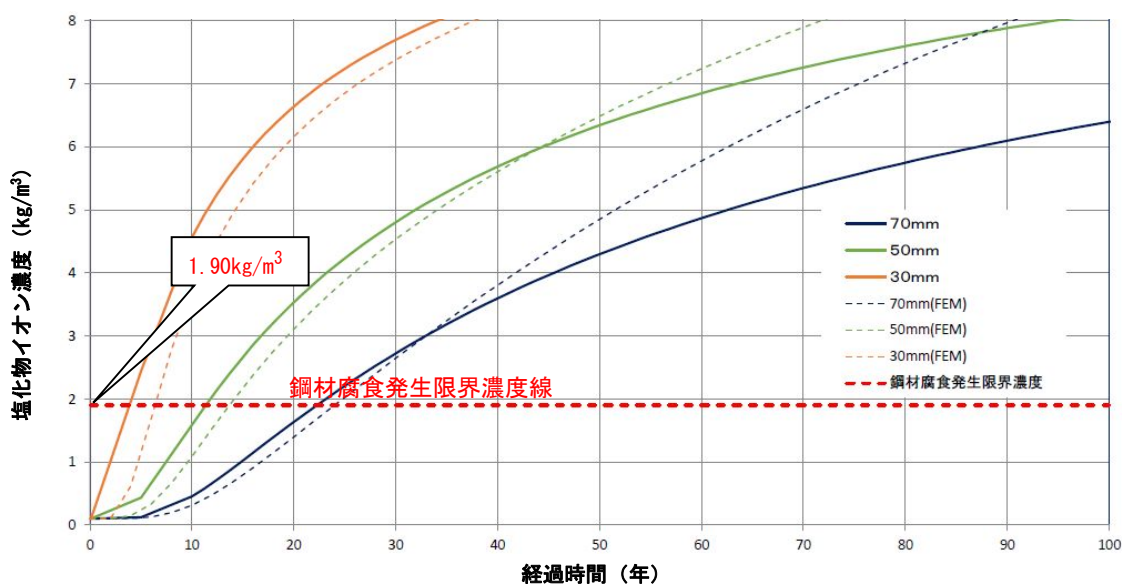


図-参 1.8 場所打ち壁高欄のコンクリートかぶり別耐久性評価

ここで、耐久性解析の結果を纏めると、表-参 1.7 のとおりとなる。

表-参 1.7 コンクリート表面の全塩化物イオン濃度  $C_{ao}=13.0\text{kg/m}^3$  での耐久性解析結果

壁高欄の種類	コンクリートかぶり	Fickの第2法則	FEM解析
DAK式プレキャスト壁高欄	70mm	80年	81年
	50mm	40年	43年
	30mm	15年	17年
既存の場所打ち壁高欄	70mm	22年	24年
	50mm	12年	14年
	30mm	4年	7年

以上より、DAK式プレキャスト壁高欄の耐久性は、以下のように評価できる。

- ① 表-参 1.7 より、今回設定した鋼材腐食発生限界濃度の範囲では、FEM解析の結果は、Fickの第2法則による数値履歴解析結果よりも耐久性年数が高く評価される傾向となり、それは、コンクリートかぶりが小さい方がその傾向は大きくなっている。しかしながら、両者には大きな差は生じなかった。これは、FEM解析の場合も見掛けの拡散係数は一定と仮定し、また、壁高欄は、橋軸方向に同形状で、しかも壁高欄表面の塩化物イオン濃度は一定と仮定しており、さらに、塩化物イオンの浸透履歴も、壁高欄前面から直角に浸透すると仮定したFEM解析、つまり、図-参 1.6 に示す2次元モデルによる解析であるため、大きな差は出なかったと考えられる。
- ② 遮塩性に対する耐久性評価は、解析条件等、仮定の域を脱し得ないところはあるものの、コンクリートかぶり 70mm の場合を比較してみると、早強ポルトランドをベースに高炉スラグ微粉末を 30%混入した DAK 式プレキャスト壁高欄は、約 80 年の耐久性を有するのに対し、普通ポルトランドセメントをベースとした場所打ち壁高欄では、約 20 年の耐久性となる。
- ③ コンクリートかぶり 50mm の場合を比較すると、DAK 式プレキャスト壁高欄は、約 40 年の耐久性を有するのに対し、場所打ち壁高欄では、約 12 年の耐久性となる。
- ④ コンクリートかぶり 30mm の場合を比較すると、DAK 式プレキャスト壁高欄は、約 15 年の耐久性を有するのに対し、場所打ち壁高欄では、約 4 年の耐久性となる。
- ⑤ 各コンクリートかぶりに対する耐久性を比較すると、DAK 式プレキャスト壁高欄は、場所打ち壁高欄に比べ、約 3 倍～約 4 倍の遮塩性に対する耐久性能を有する。
- ⑥ DAK 式プレキャスト壁高欄システムとして、床版とプレキャスト壁高欄の接合部に充填される高耐久間詰めモルタルでは、図-参 1.5 及び表-参 1.4 に示すように、経過年数(年) 20 年において想定される見掛けの拡散係数を比較しても、DAK 式プレキャスト壁高欄のそれよりかなり小さく、少なくとも DAK 式プレキャスト壁高欄に比べ高い耐久性能が確保される。

- ⑦ 今回の耐久性評価は、特に、コンクリート表面の全塩化物イオン濃度を塩害で最も厳しい条件として  $C_{ao}=13.0\text{kg/m}^3$  と設定したため、耐久年数が短く評価されたと思われるが、DAK 式プレキャスト壁高欄の施工場所によっては、コンクリート表面の全塩化物イオン濃度を低く設定できると考えられる。したがって、本検討を基本として、施工場所あるいは施工地域のコンクリート表面の全塩化物イオン濃度を明確にできれば、さらに合理的な耐久性の評価が可能と考えられる。また、耐久性評価の結果に基き、必要に応じてエポキシ樹脂塗装鉄筋の併用なども考えられる。
- ⑧ 今回の FEM 解析では、塩分の浸透が、一方向という 2 次元モデルで解析したため、Fick の第 2 法則に基づく塩分浸透解析での耐久年数に差が出なかったが、塩分浸透の方向が 2 方向以上の場合や、内在する塩分の再拡散等の影響を評価する場合には、FEM 解析が有効であると考えられる。

## 2. 壁高欄（SB種）同士の接合部の標準設計例

### 2.1 断面力解析モデル概要

断面力を解析するための解析モデルの概要は、以下のとおりである。

- 解析する部材長は、図-参 2.1 に示す 4m とし、その中央部に継手部を設置。
- 解析モデル中央部に PBL を配置し、底面をピン接合で、PBL はシェル要素でモデル化。
- 荷重载荷は、継ぎ手部天端 200 × 200 mm の範囲に、「第 2 章 設計

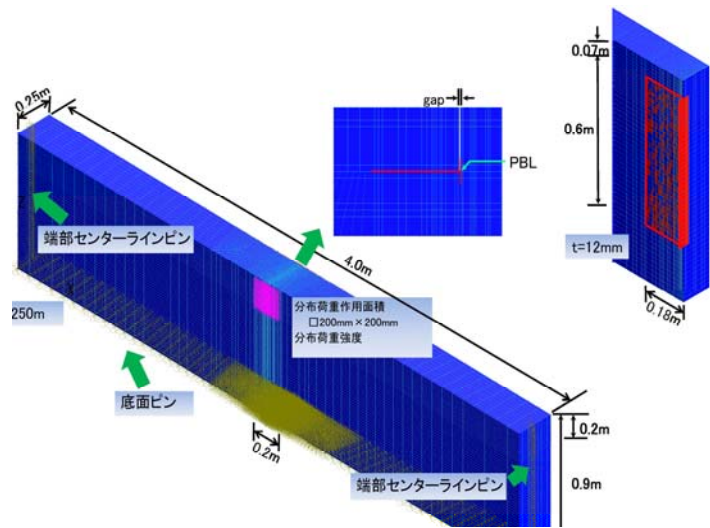


図-参 2.1 解析モデル概要図

### 2.3.1 壁高欄に作用する荷重

の表-2.3.1 に示した衝突荷重 (F) を静的な部分分布荷重にて载荷。

- フロリダ型壁高欄の前面は、下方の方が厚くなっているが、解析では、壁高欄の発生断面力が安全側に大きく算定されるよう、その厚さを 250 mm 一定として解析。
- 壁高欄接合部の PBL の外側（荷重载荷と反対側）は、衝突時にはひび割れが発生すると考え、安全側を考慮し、引張り抵抗力が無いものとして断面の鉛直方向にスリット 2mm 幅のギャップを設置。

### 2.2 解析結果概要

壁高欄種別 SB 種での解析結果を図-参 2.2 及び図-参 2.3 に、それぞれ参考として示す。

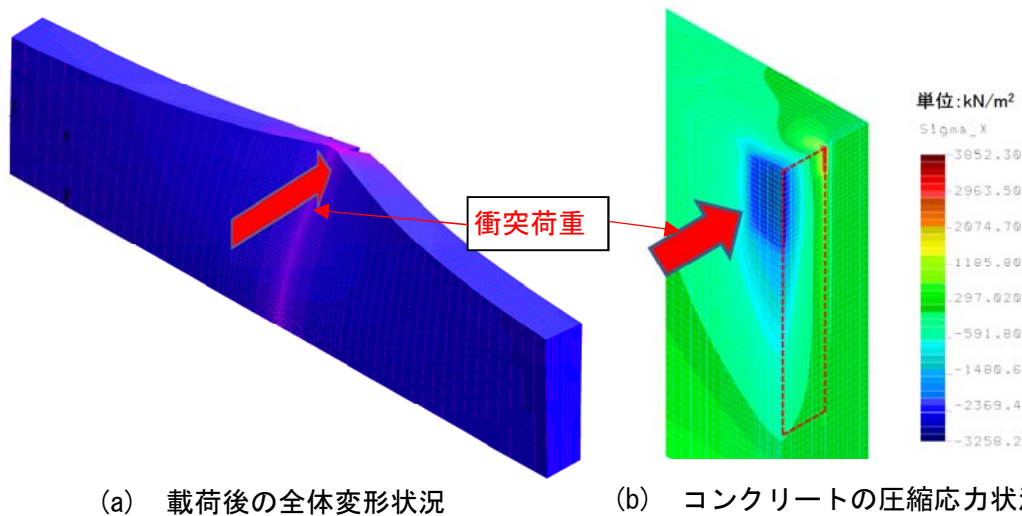
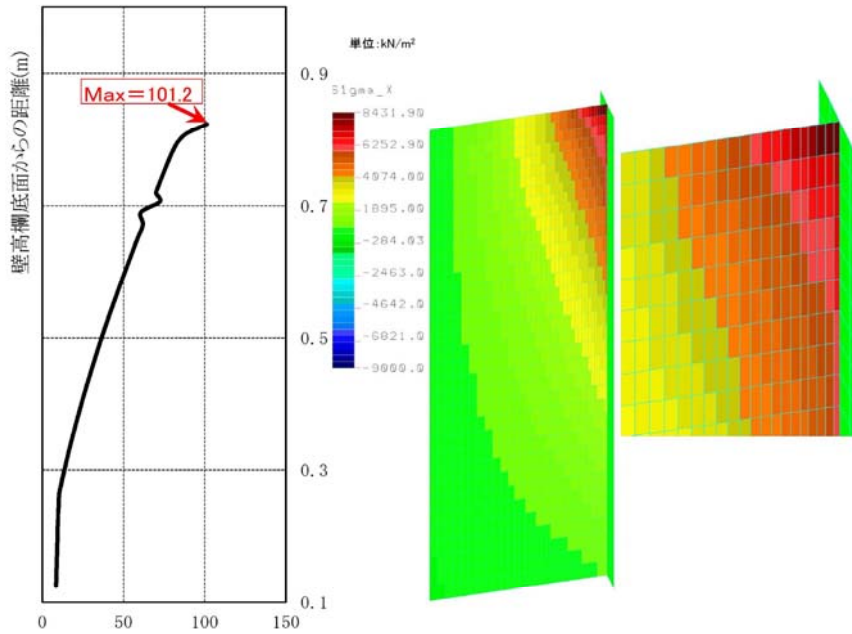


図-参 2.2 衝突荷重载荷時の全体変形状況と壁高欄前面のコンクリート圧縮応力状況



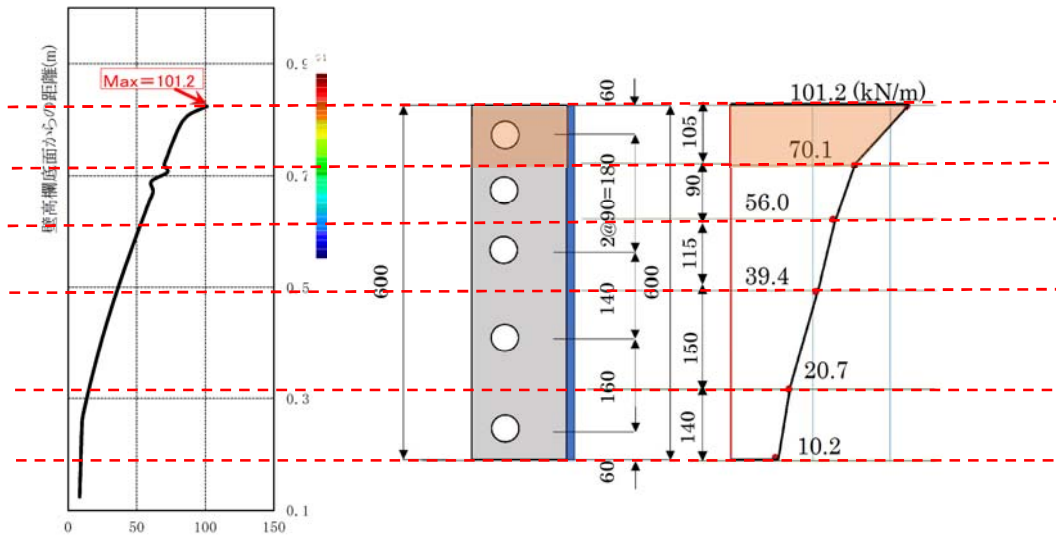
PBL最大値発生位置線上の引張力N (kN/m)

応力  $\sigma$  (kN/m<sup>2</sup>)の分布

図-参 2.3 PBL に作用する引張力と応力分布状況

### 2.3 PBL 孔の配置とその設計方法

PBL 孔の配置及びその設計方法は、「2.1 断面力解析モデル概要」に示す解析手法を用い、算出された PBL 部に発生する引張り力を用いて、鋼板に作用する引張り応力、モルタルジベルのせん断耐力を照査して、ジベルの孔径と配置を決定する。この時、使用する鋼板の最少厚さは 12mm とし、図-参 2.4 に SB 種の PBL 孔の配置とその設定方法を示す。



PBL最大値発生位置線上の引張力

図-参 2.4 PBL の発生応力と PBL 孔の配置の関係

ここで、PBL 鋼板の橋軸方向の幅は 180 mm としている。PBL 孔に作用するせん断力の分担は、**図-参 2.4** の着色部のように、PBL 孔と PBL 孔の中心間の引張り合力を分担させるとした。また、PBL 孔の直径については、45 mm と 40mm で、PBL 孔に作用するせん断耐力の比較を行い、PBL 孔の縦方向の間隔と配置スペースの関係から、PBL 孔の直径を 45mm と決定した。**図-参 2.4** の配置が最終決定した配置である。

この PBL 孔の配置を考慮した接合構造を用いて、巻末の**参考資料「5. DAK 式プレキャスト壁高欄接合部の安全性に関する検討」**に述べているとおり、PBL 接合部の安全性を確認している。

設計例として、PBL 孔径 45 mm の場合の詳細計算式を以下に示す。

### 条 件

壁高欄種別 SB 種

「第 2 章 設 計 2.5.4 PBL 孔モルタルジベルのせん断耐力の照査」の式-2.5.2 に用いる部材係数  $\gamma_b = 1.3$

「第 2 章 設 計 2.5.4 PBL 孔モルタルジベルのせん断耐力の照査」の式-2.5.3 に用いる部材係数  $\gamma_b = 1.3$

衝突時安全率 = 1.5

終局時安全率 = 3.0

PBL の鋼板厚  $t$  (mm) = 12

PBL の孔径  $d$  (mm) = 45

低減率  $\rho$  = 0.5

孔間隔  $p$  (mm) = 90

縁端距離  $d_0$  (mm) = 60

孔の衝突時最大せん断力  $Q_{max \text{ 衝突}}$  (kN/m) = 101.2

孔の常時最大せん断力  $Q_{max \text{ 常時}}$  (kN/m) =  $Q_{max \text{ 衝突}} / \text{衝突時安全率}$   
 = 101.2 / 1.5  
 = 67.5

鋼材の設計引張降伏強度  $f_{yd}$  (N/mm<sup>2</sup>) = 245

コンクリートの設計圧縮強度  $f_{cd}$  (N/mm<sup>2</sup>) = 40

### 照 査

孔の設計せん断耐力

$$\begin{aligned} V_{psud} &= (1 - \rho) \times 1.60 \times \text{孔径 } d^2 \times f_{cd} / \gamma_b \\ &= (1 - 0.5) \times 1.60 \times (45.0)^2 \times 40.0 / 1.3 \\ &= 49,846.2 \text{ (N/孔)} \\ &= 49.8 \text{ (kN/孔)} \end{aligned}$$

孔の終局時せん断力

トップ位置の場合

$$\begin{aligned} Q_u &= (Q_{max \text{ 常時}} \times \text{孔間隔 } p / 2 + \text{縁辺距離 } d_0) / 1000) \times \text{終局時安全係数} \\ &= (67.5 \times (90 / 2 + 60) / 1000) \times 3 \\ &= 21.3 \text{ (kN)} \end{aligned}$$

照 査

$$\begin{aligned} V_{psud} &> Q_u \\ &= 49.8 > 21.3 \quad \text{OK} \end{aligned}$$

孔間の鋼板のせん断抵抗断面積

$$\begin{aligned} A_s &= (\text{孔間隔 } p - \text{孔径 } d) \times \text{PBL 鋼板厚さ } t \\ &= (90 - 45) \times 12 \\ &= 540 \text{ (mm}^2\text{)} \end{aligned}$$

孔間の鋼板のせん断耐力

$$\begin{aligned} V_{sud} &= A_s \times (f_{yd} / \sqrt{3}) \times (100 / 60) / \gamma_b \\ &= 540 \times (245 / \sqrt{3}) \times (100 / 60) / 1.3 \\ &= 97,930.4 \text{ (N)} \\ &= 97.9 \text{ (kN)} \end{aligned}$$

照 査

$$\begin{aligned} V_{sud} &> Q_u \\ &= 97.9 > 21.3 \quad \text{OK} \end{aligned}$$

照 査

$$\begin{aligned} V_{sud} &> V_{psud} \\ &= 97.9 > 49.8 \quad \text{OK} \end{aligned}$$



## 2.4 PBL 鋼板の定着鉄筋の照査

PBL を用いた壁高欄同士の接合部では、PBL 孔に作用するせん断力によって、左右の壁高欄にそれぞれ力が伝達されることになる。そのため、それらの力に対する設計が必要となる。

FEM 解析で得られた衝突荷重によって PBL 鋼板に作用する引張力の作用位置と作用力を整理すると、表-参 2.1 のとおりとなり、それを分布図に示すと図-参 2.5 のとおりとなる。

表-参 2.1 PBL 鋼板に作用する引張り力の作用位置と作用力の関係

PBL 天端からの距離 (mm)	基部からの距離 (m)	PBL に働く引張り力(Nx) (kN/m)
0	0.824	101.2
105	0.717	70.1
195	0.627	56.0
310	0.512	39.4
460	0.362	20.7
600	0.222	10.2

※ Nx の数値は、検討断面におけるその近い位置で大きい方の要素の力を採用した。

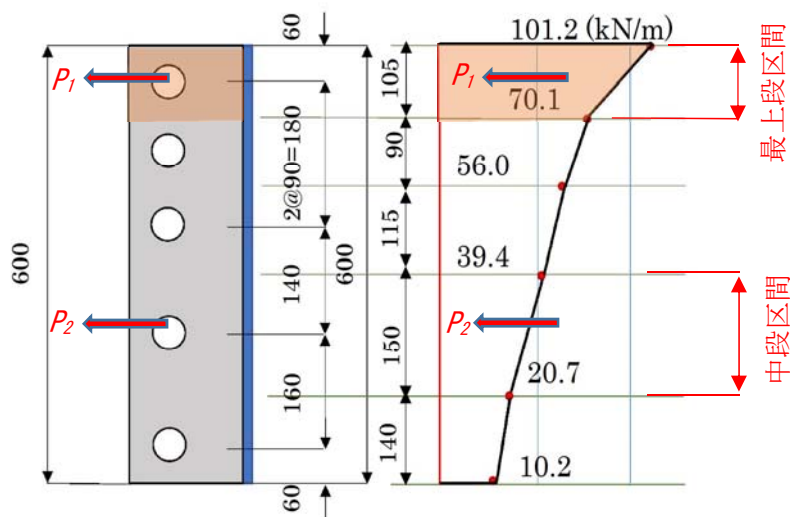


図-参 2.5 PBL 鋼板に作用する引張り力の分布図

### 2.4.1 PBL 鋼板 (PBL 孔) への作用力

#### (1) 最上段照査位置の PBL の作用力 (PBL 孔のせん断耐力)

$$P_1 = ((101.2 + 70.1) / 2) \times 0.105 = 9.00 \text{ kN}$$

$$P_{1d} = 3 \times (9.00 / 1.5) = 18.00 \text{ kN} < P_a = 49.8 \text{ kN} (V_{psud})$$

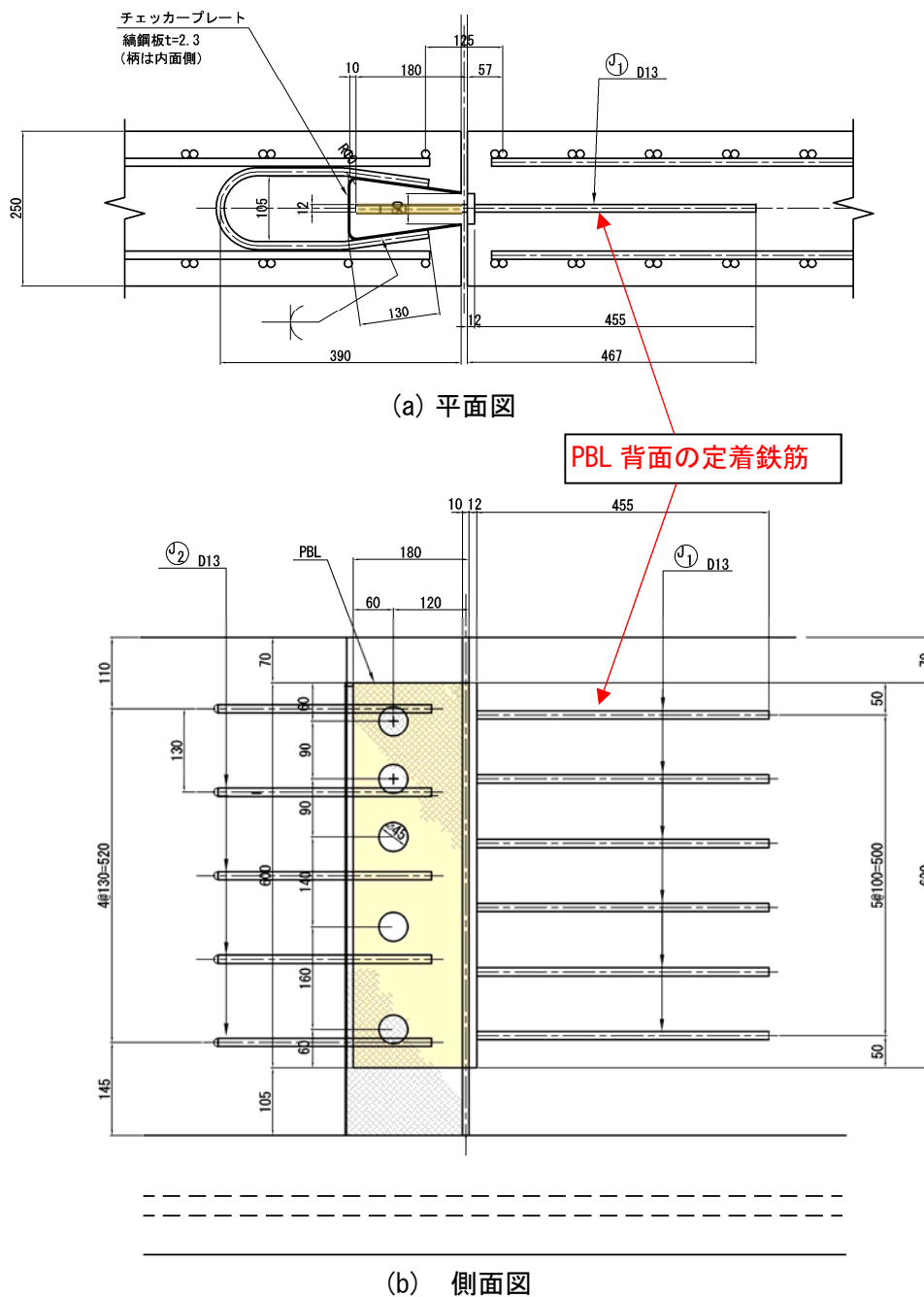
(2) 中段照査位置のPBLの作用力

$$P_2 = ((39.4 + 20.7) \times 22) \times 0.150 = 4.51 \text{ kN}$$

$$P_{2d} = 3 \times (4.51 / 1.5) = 9.02 \text{ kN} < P_a = 49.8 \text{ kN} (V_{psud})$$

2.4.2 PBLの定着鉄筋の照査例

PBL 接合部の補強鉄筋の配置図を、図-参 2.6 に示す。



(1) 最上段位置での定着鉄筋

$$\begin{aligned} \text{D13 の鉄筋を 1 本用いる } A_s &= 126.7 \text{ mm}^2 \\ \sigma_s &= 18.00 \times 10^3 / 126.7 \\ &= 142 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{sa} = 300 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

(2) 中段照査位置での定着鉄筋

$$\begin{aligned} \text{D13 の鉄筋を用いる } A_s &= 126.7 \text{ mm}^2 \\ \sigma_s &= 9.02 \times 10^3 / 126.7 \\ &= 71 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{sa} = 300 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

(3) 全体必要本数の照査

全体では上段の応力と下端応力の平均を使用

$$\begin{aligned} P_{max} &= 0.5 \times (101.2 + 10.20) \times 0.60 \\ &= 33.42 \text{ kN} \\ n &= 1.5 \times 33.42 \times 10^3 / (126.7 \times 300) \\ &= 1.32 \text{ 本} \approx 2 \text{ 本 以上} \end{aligned}$$

計算の結果、全体の力の配分を均等化するため、D13 鉄筋を 6 本使用する。

なお、溝側ブロック内に配置した縞鋼板背面の補強鉄筋や、衝突荷重時に生じる PBL 鋼板自体の曲げ引張り挙動に対する溶接の設計も実施するとともに簡易衝突試験を実施して詳細な構造を決定しており、ここでは、その標準とした設計例の一部を紹介した。

### 3. PBL 孔のモルタルのせん断耐力の評価方法

#### 3.1 既往の実験より得られたモルタルのせん断耐力

PBL 孔にモルタルが充填された場合のモルタルのせん断耐力の研究は少ないが、表-参 3.1 に、モルタルを用いた場合の押抜き試験のデータを纏めた。また、試験データの出典先である参考文献も明記した。

文献 1) から、モルタルを用いた孔あき鋼板ジベルのせん断耐力は、通常のコングリートを用いた場合の「土木学会 2014 年制定 複合構造標準示方書 設計編 5.3 孔あき鋼板ジベルの規定」で評価しているせん断耐力の推定値よりも、ジベル孔径が大きくなるほど耐力は小さくなることがわかっている。

表-参 3.1 モルタルを用いた既往研究の押抜き試験データ

文献	試験体名	$D$ (mm)	$f'_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	$Af'_c$ (N)	$Q_{exp}$ (kN)	$Q_{est1}$ (kN)	$Q_{exp} / Q_{est1}$	$Q_{est2}$ (kN)	$Q_{exp} / Q_{est2}$
1)	M1	35	25.5	24,531	54	50	1.08	57	0.95
	M2	35	25.5	24,531	58	50	1.16	57	1.02
	M3	35	25.5	24,531	56	50	1.12	57	0.98
2)	D5MT12-1	50	53.8	105,609	134	215	0.62	101	1.33
	D5MT12-2	50	53.8	105,609	118	215	0.55	101	1.17
	D5MT12-3	50	53.8	105,609	110	215	0.51	101	1.09
3)	MD5T12-1	50	53.1	104,235	108	212	0.51	101	1.07
	MD5T12-2	50	53.1	104,235	116	212	0.55	101	1.15
4)	57.5-1	60	57.5	162,553	105	331	0.32	120	0.88
	57.5-2	60	57.5	162,553	115	331	0.35	120	0.96
	57.5-3	60	57.5	162,553	118	331	0.36	120	0.98
	45.5-1	60	45.5	128,629	102	262	0.39	110	0.93
	45.5-2	60	45.5	128,629	106	262	0.4	110	0.96
	45.5-3	60	45.5	128,629	110	262	0.42	110	1.00

ここに、 $D$ ：ジベル孔径、 $A$ ：ジベル孔面積、 $f'_c$ ：モルタル圧縮強度、 $Q_{exp}$ ：せん断耐力実験値、 $Q_{est1} = 1.6D^2f'_c / 1000$  は、上述の複合示方書のせん断耐力式の推定値、 $Q_{est2} = 900D^{0.8}f'_c^{0.4} / 1000$  は、後述の式-参 3.1 の推定値である。

参考文献

- 1) Hai ら：モルタルを用いた孔あき鋼板ジベルのせん断耐力の一考察，土木学会第 71 回年次学術講演会，2016. 9.
- 2) 中島ら：単純な押抜き試験に基づく孔あき鋼板ジベルのせん断耐力評価，土木学会論文集（構造・地震工学），Vol. 68, No. 2, pp. 495-508, 2012. 3.
- 3) 中島ら：貫通鉄筋の無い孔あき鋼板ジベルのせん断抵抗機構とせん断耐力評価，土木学会論文集（構造・地震工学），Vol. 70, No. 5, pp. II 20-II 30, 2014. 5.
- 4) 藤山ら：孔内粗骨材のせん断抵抗に着目した孔あき鋼板ジベル耐荷機構の基礎的研究，第 11 回複合・合成構造の活用に関するシンポジウム，No. 1, pp. 1-8, 2015. 11.

3.2 試験データ分析

表-参 3.1 の試験データから、縦軸を実験値 ( $Q_{exp}$ ) / 示方書式 ( $Q_{est1}=1.6 D^2 f'_c / 1000$ ) の比とし、横軸を孔面積×モルタル強度 ( $A \cdot f'_c$ ) とした関係を示すと、図-参 3.1 のとおりとなる。図中では、表-参 3.1 のデータを累乗近似曲線とし、その曲線式も示した。

つまり、モルタルを用いた孔あき鋼板ジベルのせん断耐力を  $Q_{est2}(N)$  とすると、式-参 3.1 の関係式が得られる。

$$\frac{Q_{est2}}{1.6D^2 f'_c} = 486.49(Af'_c)^{-0.597}$$

$$Q_{est2} \cong 900 D^{0.8} f'_c{}^{0.4} \quad (N) \quad \text{式-参 3.1}$$

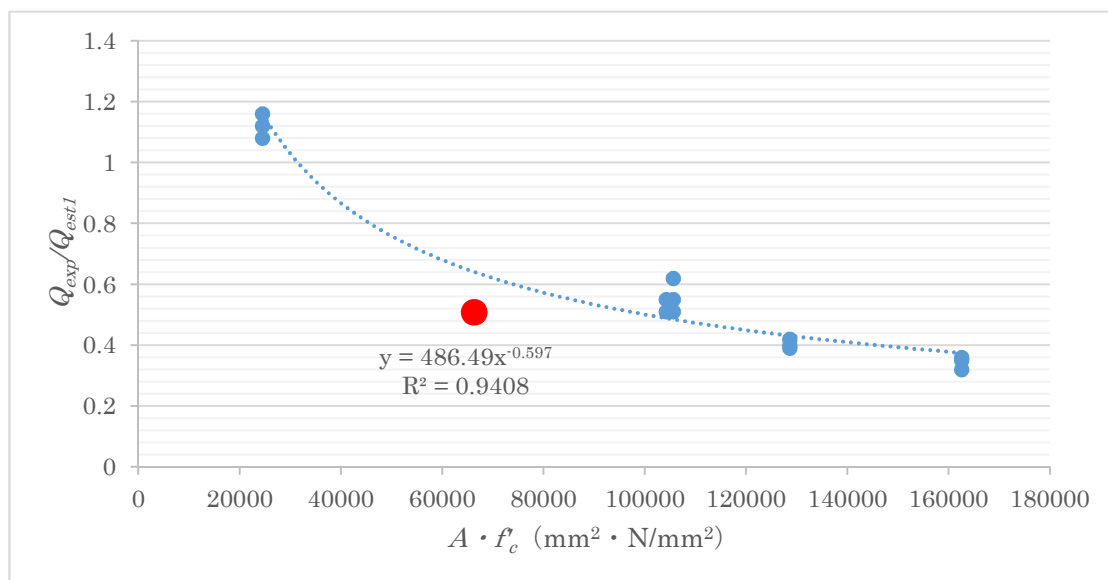


図-参 3.1 試験値と土木学会規定値との比較

なお、モルタルを用いた孔あき鋼板ジベルのせん断耐力を式-参 3.1 により推定すると、表-参 3.1 の  $Q_{est2}$  の値になり、実験値との比率は 1 に近づいている。

### 3.3 壁高欄SB種の場合のモルタルジベルのせん断耐力

橋軸方向の壁高欄同士の接合に用いたPBL孔のせん断耐力について検討する。

この場合、PBL孔には、モルタルが充填されている。このモルタルは、「第1章 DAK式プレキャスト壁高欄システムの特徴 1.3 性能規定」で述べた高耐久間詰めモルタルである。また、壁高欄SB種で用いたPBL孔の直径は45mmである。

図-参3.1から、せん断耐力実験値 ( $Q_{exp}$ ) と土木学会のコンクリートのせん断耐力の推定値 ( $Q_{est1}$ ) の比 ( $Q_{exp} / Q_{est1}$ ) を、壁高欄SB種で用いたPBL孔の直径45mmの場合で評価すると、図-参3.2のように表される。

ここで、横軸の孔面積×モルタル強度は、 $A \cdot f_c = (\pi \times (45\text{mm})^2 / 4) \times 40\text{N/mm}^2 = 63,583\text{N}$ となる。

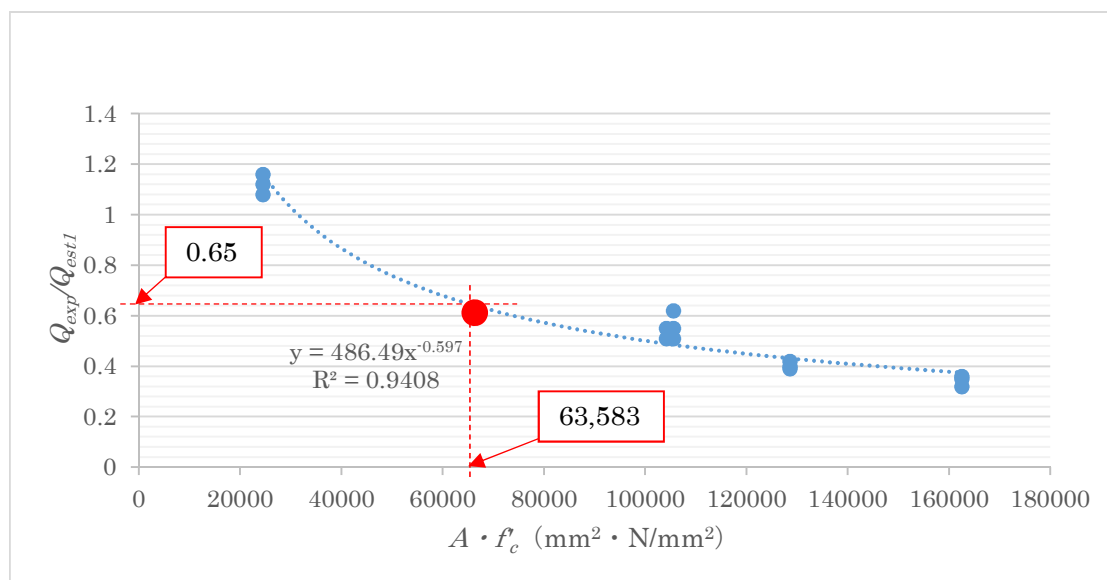


図-参3.2 試験値と土木学会規定値との比較

以上の結果、 $Q_{exp} / Q_{est1}$ の関係は、約0.65となり、モルタルのせん断強度 ( $Q_{exp}$ ) は、コンクリートせん断耐力の推定値 ( $Q_{est1}$ ) の約0.65倍ということになる。これを式に表せば、式-参3.2のとおりとなる。

$$Q_{exp} = 0.65 \cdot Q_{est1}$$

式-参3.2

ここで、実際のPBL孔のせん断耐力の式は、「第2章 設計 2.5 壁高欄の橋軸方向接合部の構造と設計方法」に示した式-2.5.4のとおり、安全側の設計となるよう、モルタルの低減率を  $\rho = 0.5$  と設定した。

### 3.4 モルタルのせん断耐力を用いる場合の留意事項

PBL 孔に充填されるモルタルの場合のせん断耐力を評価する場合、以下の注意が必要である。

- (1) 表-参 3.1 で用いている試験体寸法及び補強鉄筋配置などは、試験種類ごとに異なっている。実際には試験体寸法や補強鉄筋配置などは、ジベル孔周辺の拘束に寄与し、せん断耐力に影響する可能性が高いと思われるが、式-参 3.1 ではこの要因を考慮していない。
- (2) 式-参 3.1 の適用範囲は、PBL 孔の直径 ( $D$ ) が  $30(\text{mm}) \leq D \leq 60(\text{mm})$  とする。
- (3) 壁高欄の種別で SS 種の場合でも、PBL 孔のせん断耐力に対して安全性は確保できる。

## 4. DAK 式プレキャスト壁高欄と各種床版との接合例

### 4.1 概要

DAK 式プレキャスト壁高欄の実績は、まだ少なく、その中でも、プレテンション PC 床版との接合例について、実績及び計画の 2 橋を、合成床版との接合例を 1 橋及び PC 箱桁橋の RC 床版との接合例を 1 橋、計 4 橋の接合例を以下に示す。

なお、接合構造の決定に当たっては、「第 2 章 設 計 2.3.4 プレキャスト製作部材断面設定の配慮事項」等を考慮して接合部の構造を決定している。

### 4.2 プレテンション PC 床版との接合例

先ず、1 例は、図-参 4.1 に示すプレテンション PC 床版との接合例である。

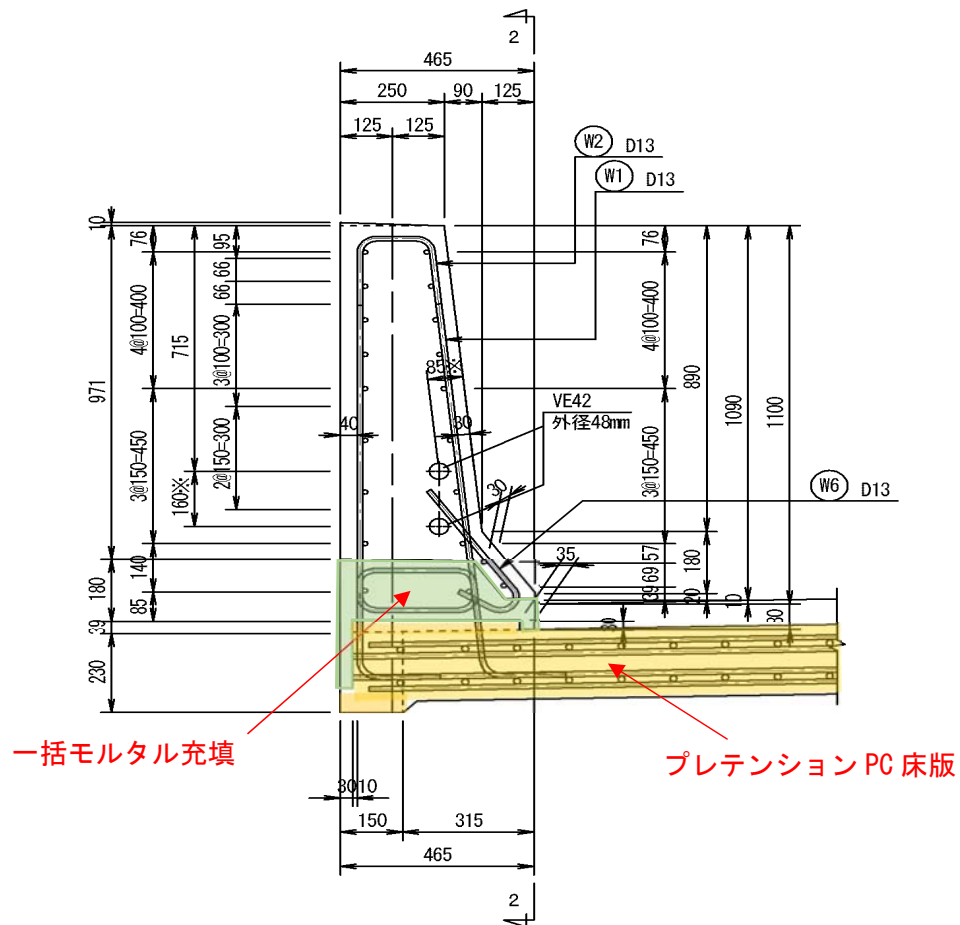


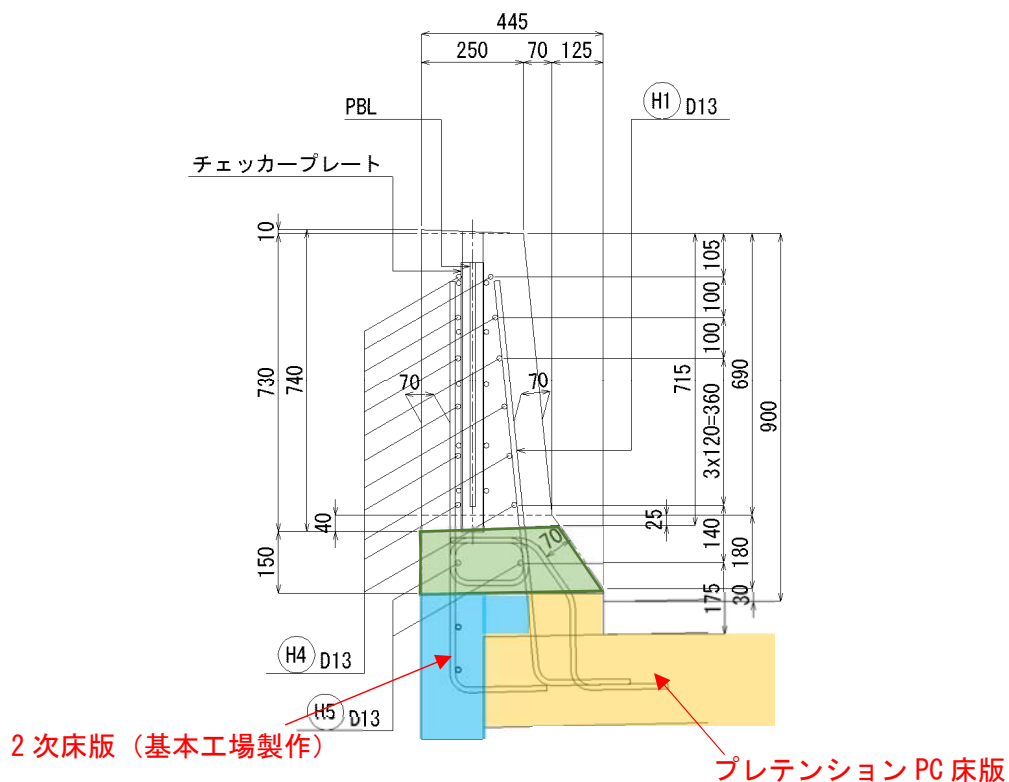
図-参 4.1 プレキャスト壁高欄下端前面に袴状の部材を設けた接合例

本接合の場合、以下の特徴を有すると考えられる。



- ① 壁高欄下端前面に袴状の部材を設けることによって、接合部のモルタル充填量を少なくでき、現場施工の省力化が可能
- ② 壁高欄前面の鉄筋のかぶり量が 30mm であるため、前面の斜め配力鉄筋の配置を行っても袴状の部材の製作が可能
- ③ 壁高欄前面の型枠工の省力化が可能
- ④ 袴状の部材があるため、モルタル充填は、基本的に壁高欄背面となる
- ⑤ プレテンション PC 床版の端面処理において、PC 鋼材をかぶり分短くして、プレテンション PC 床版の背面と一緒に接合部を充填する合理化施工が可能
- ⑥ モルタルの施工では、型枠を壁高欄前面と背面からセパ等で固定可能

次の例は、2 橋目のプレテンション PC 床版との接合例で、**図-参 4.2** に示す。



**図-参 4.2** プレテンション PC 床版との接合例

本接合の場合、以下の特徴を有すると考えられる。

- ① 従来のプレテンション PC 床版の型枠の有効利用が可能
- ② 壁高欄前面の鉄筋のかぶり量が 70mm であるため、壁高欄前面主鉄筋と前面の斜め配力筋が近接するため、**図-参 4.1** に示すような袴状の部材を配置し辛い

- ③ 本接合の場合、モルタル充填は、壁高欄前面としている。施工上の観点から、壁高欄下面の勾配を逆にすれば、背面からの充填も可能である
- ④ モルタルの施工では、型枠を壁高欄前面と背面からセパ等で固定可能

#### 4.3 合成床版との接合例

合成床版との接合例を図-参 4.3 に示す。

本橋の場合、壁高欄背面に鋼板が配置されている。

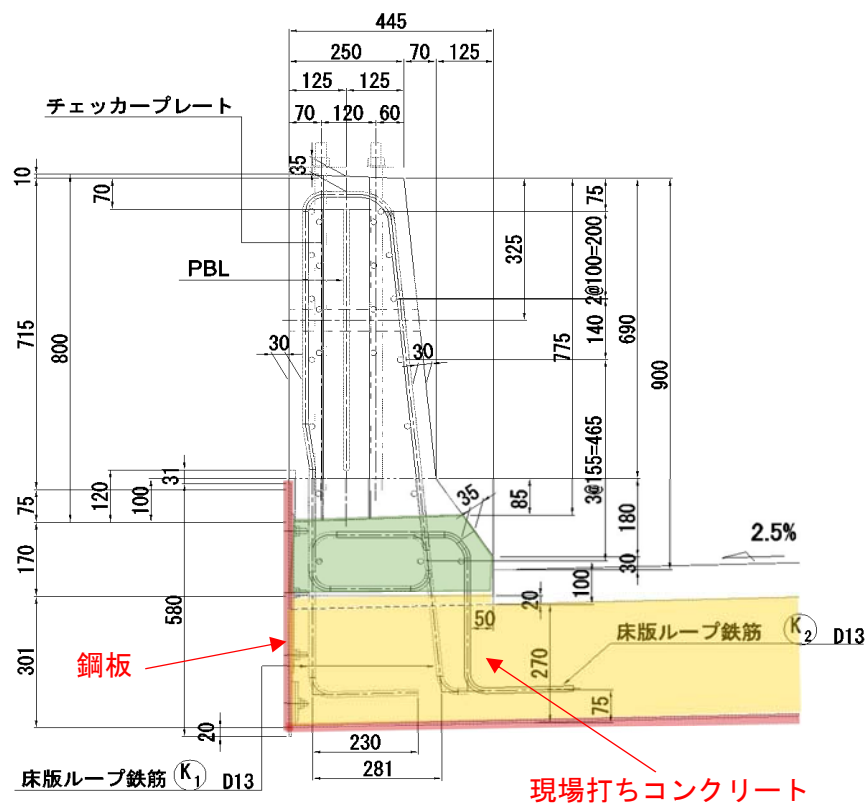


図-参 4.3 合成床版との接合例

本接合の場合、以下の特徴を有すると考えられる。

- ① 壁高欄背面に鋼板が配置されているため、高さ調整作業は、壁高欄前面からのみに制限される
- ② モルタル充填も前面からとなる
- ③ モルタル充填時の背面鋼板の固定が難しい。また、前面の型枠の固定も背面鋼板から取れないため、こちらも難しい
- ④ 背面鋼板があるため、ループ鉄筋内に配置する橋軸方向の鉄筋の配置が難しい

したがって、合成床版橋に DAK 式プレキャスト壁高欄を採用する場合には、背面鋼板を配置する場合は、場所打ち床版の端部の高さまでに抑えるのが望ましい。

#### 4.4 PC 箱桁の RC 床版との接合例

PC 箱桁と RC 床版との接合例を図-参 4.4 に示す。

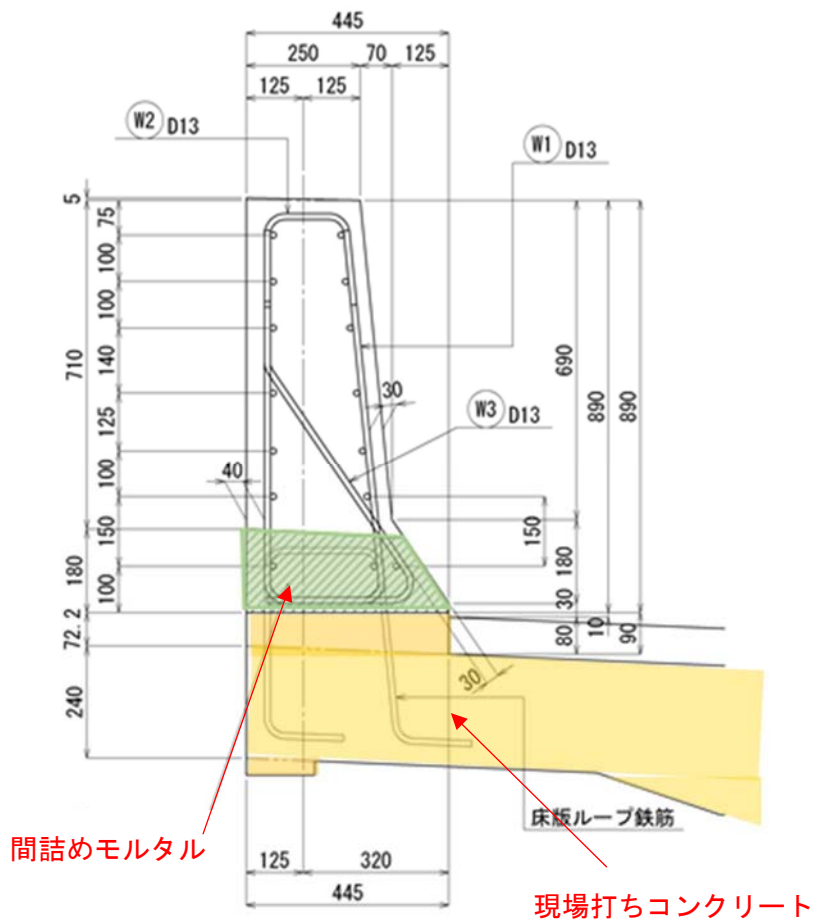


図-参 4.4 PC 箱桁の RC 床版との接合例

本接合の場合、以下の特徴を有すると考えられる

- ① 壁高欄前面の鉄筋のかぶり量が 30mm であるが、場所打ち床版の嵩上げ量が大きいため、壁高欄前面主鉄筋と斜め配力鉄筋とが近接し、図-参 4.1 のような袴状の部材の製作が難しい
- ② 本接合例では、モルタル充填は壁高欄背面としている
- ③ モルタルの施工では、型枠を壁高欄前面と背面からセパ等で固定可能

## 5. DAK 式プレキャスト壁高欄接合部の安全性に関する検討

### 5.1 概要

DAK 式プレキャスト壁高欄システムでは、床版及び壁高欄同士にそれぞれ接合部が存在する。つまり、床版との接合にはループ鉄筋継手を採用し、壁高欄同士の接合には孔明き鋼板ジベル（PBL）を採用している。

ここでは、それらの接合部の安全性を確認するため、簡易衝突試験を実施した。

### 5.2 簡易衝突試験による安全性の考え方

平成 10 年に土木研究センターで種々な形状の剛性防護柵の実走行車両による衝突試験が実施され、NEXCO が採用しているフロリダ型のコンクリート壁高欄の形状については、車両の逸脱性、車両の誘導性等、その安全性が確認されていることから、ここでは、DAK 式プレキャスト壁高欄の床版との接合部ならびに橋軸方向のプレキャスト壁高欄同士の接合部の安全性を確認する事を目的とし、**図-参 5.1** に示すように、重錘を壁高欄に直角にぶつける簡易衝突試験によって、安全性を確認することとした。

なお、本衝突安全性試験については、NEXCO 総研とも連携して実施している。

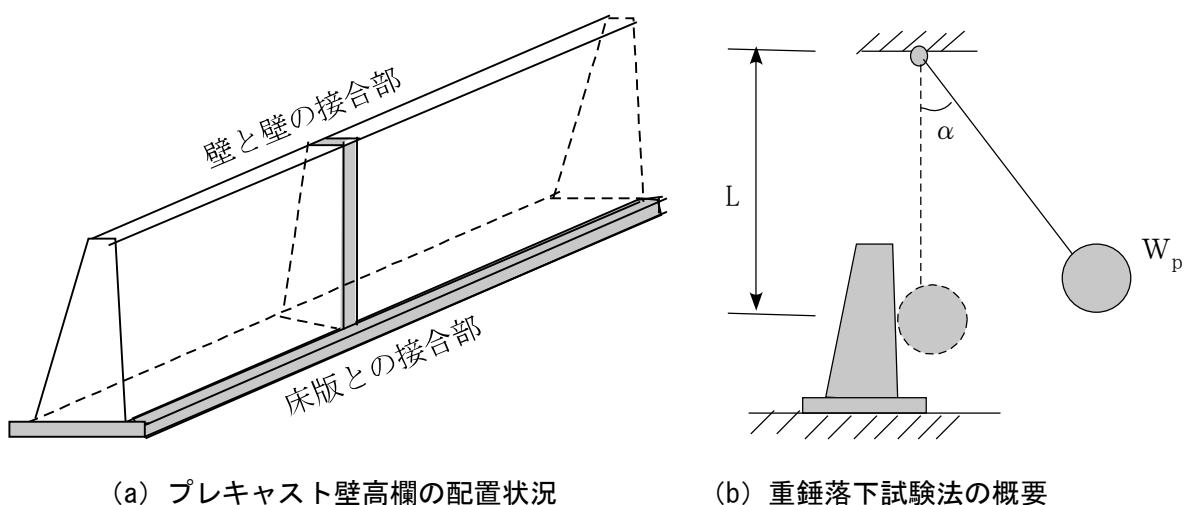


図-参 5.1 重錘を用いた簡易衝突試験のイメージ図

この場合、プレキャスト壁高欄と床版との接合部は、ループ鉄筋で構成されており、壁高欄の設計方法に準じた鉄筋量がループ状に配置されている。

また、壁高欄同士の接合部についても、設計された孔あき鋼板（PBL）が溝側に差し込まれ、実施工に合わせた方法で接合されている。

それぞれの設計方法および配置については、「第 2 章 設 計」で詳述している。

### 5.3 簡易衝突荷重の計算

「日本道路協会：車両用防護柵標準仕様・同解説、平成16年3月」によって、剛性防護柵の設計衝突荷重は、式-参 5.1 によって算出される。

$$F = k_f \frac{2 \cdot (1 + e_v)}{L_w \cdot \sin \theta} \cdot \left( \frac{W}{W_r} \right)^2 \cdot I_s \cdot a \quad \text{式-参 5.1}$$

ここに、

- $F$  : 衝突荷重 (kN)
- $k_f$  : 補正比例係数, 0.1
- $I_s$  : 衝撃度 (kJ),  $I_s = (1/2) \cdot (W/g) \cdot v^2 / \sin^2 \theta$ , 種別 SA では  $I_s = 420 \text{kJ}$
- $\theta$  : 衝突角度 (度) =15 度
- $W$  : 車両重量, 種別 SA では 25tf
- $v$  : 衝突速度 (m/s), 種別 SA では 80km/h
- $a$  : 斜面低減係数 ( $= (Kt)^2 \cdot b \leq 1.0$ )
- $Kt$  : 理論低減係数 ( $= \sin^2 \alpha$ )
- $\alpha$  : 車両斜面駆け上がり角度 (度) ( $\tan^{-1}(\sin \theta / \tan \beta)$ )
- $\beta$  : 鉛直面からの斜面角度 (度) (=フロリダ型 6 度)
- $b$  : 実験係数 (=フロリダ型 1.1)

なお、適用の対象とした壁高柵の種別は、フロリダ型 SB タイプであるが、安全を考慮して、荷重の大きいフロリダ型 SA タイプを用いた。したがって、衝突荷重も SB タイプより大きな荷重となっている。

式-参 5.1 では、衝突荷重  $F$  は衝撃度  $I_s$  に比例する量として定義づけられており、補正比例係数  $k_f = 0.1$  は、衝突時の運動エネルギーの 90% は車両の変形により消費され、10% のみが壁高柵に伝達されると推定されたものである。

したがって、式-参 5.1 によると、衝突荷重と衝撃度の関係は図-参 5.2 のように表され、車両重量  $W = 25 \text{tf}$  で衝突速度  $v = 80 \text{km/h}$  の種別 SA のフロリダ型壁高柵では、衝突荷重は、 $F = 88 \text{kN}$  となる。

なお、NEXCO のコンクリート製壁高柵の各種別の形状及び荷重は、表-参 5.1 及び図-参 5.3 に示すものを標準としている。

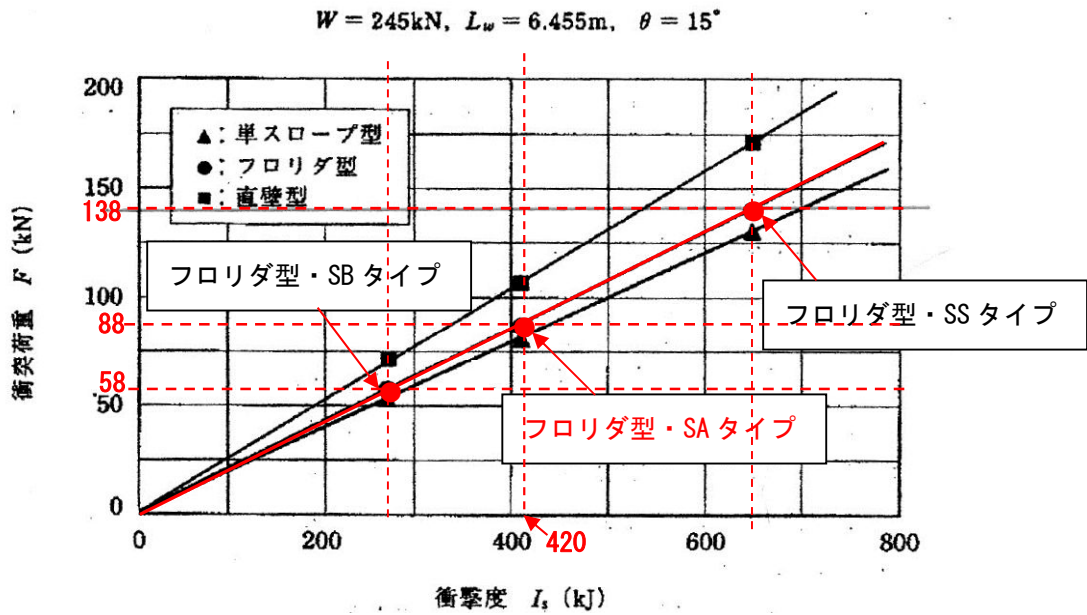


図-参 5.2 衝突荷重と衝撃度の関係

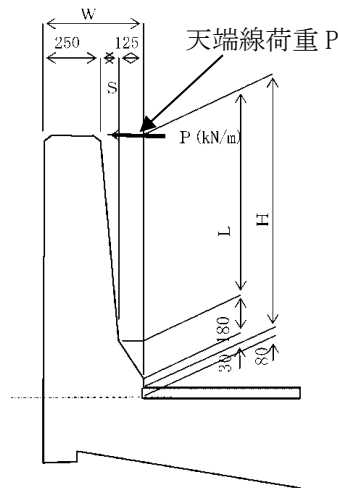


図-参 5.3 鉄筋コンクリート製防護柵の形状

表-参 5.1 防護柵種別と寸法および荷重

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

以上の結果、図-参 5.1 に示す重錘試験法での壁高柵に与える運動エネルギーは、 $E_p = k_f \cdot I_s = 0.1 \times 420 = 42\text{kJ}$  となり、この値を一つの基準値とした。

#### 5.4 簡易衝突試験の方法

試験に用いた壁高欄の形状は、**図-参 5.4** に示すように、衝突荷重の大きいフロリダ型 SA タイプの形状とした。なお、この場合の主鉄筋の配置（鉄筋径および配置間隔）は、フロリダ型 SB タイプと同様であり、また、鉄筋かぶりは、30mm とした。

なお、試験では、同じく**図-参 5.4** に示すように、通信管路の配置の可能性も考慮して、プレキャスト壁高欄側に 6 条配置した。また、プレキャスト壁高欄と床版の接合部には、高耐久間詰めモルタル「商品名：リペアメント NS」を充填することになるが、現場施工の省力化を図るため、できるだけ施工範囲を小さく制限する事とし、充填部のループ鉄筋の継手長は、ループ形状を構成できる最小高さとして、それぞれのループ鉄筋の中心高さを 100mm とした。

また、この場合のループ継手位置は、衝突荷重によって壁高欄に生じる曲げモーメントが最大となる壁高欄下端位置とし、床版直上から床版側ループ鉄筋が出てくるよう配置した。

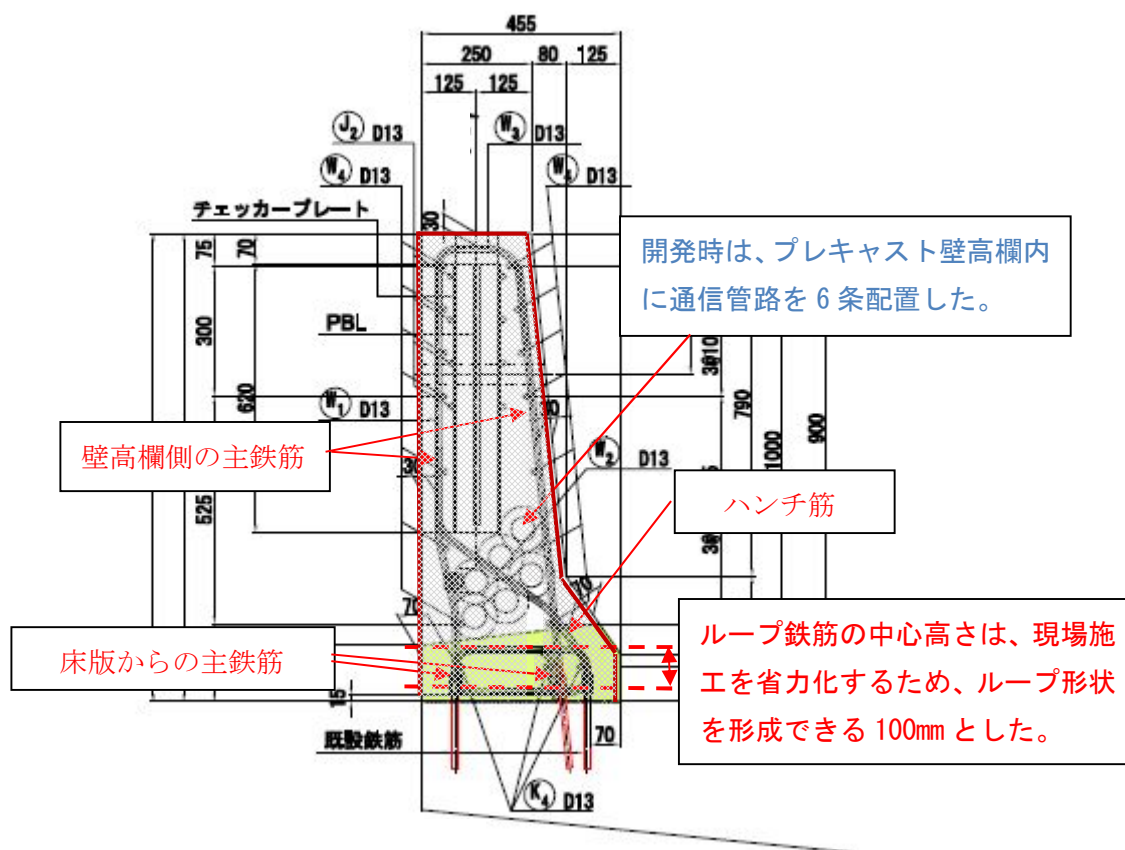
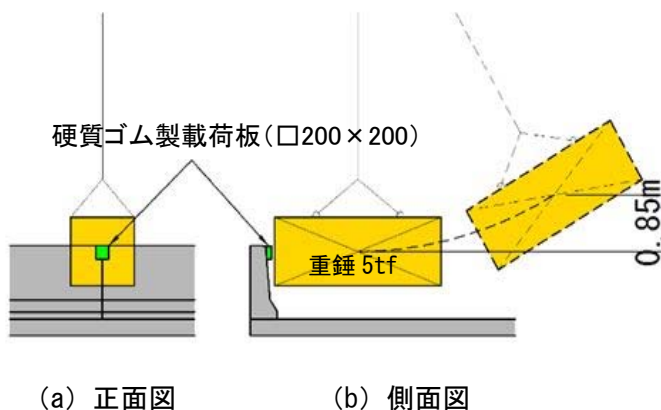


図-参 5.4 衝突試験に用いた SA タイプの壁高欄の断面図

衝突試験に用いた重錘は、**図-参 5.5** に示すように、鉄製の立方体とし、重量は、5.0tf とした。

重錘を衝突させる位置については、壁高欄構造とて、壁高欄同士の接合部を考慮し、橋軸方向のどの位置に衝突させるのが良いかであるが、これについては、PBLを有する接合部に対し、曲げ・せん断挙動を考慮し、事前にFEM解析を実施して、PBLを含めた構造に対し検討した結果、特に、PBL孔のせん断耐力が接合部の安全性に寄与する結果となり、このため、PBL孔に作用するせん断力が最大となるような衝突荷重の荷重として、**図-参 5.5** の正面図に示すように、壁高欄同士の継ぎ目位置を中心とする荷重位置に決定したものである。

この場合の重錘の落下高さは、運動エネルギーと位置エネルギーの等価の法則で計算し、**式-参 5.2** を用いて落下高さを算出した。



**図-参 5.5** 重錘の形状、配置、落下高さ

$$42 \cdot kJ = m \cdot g \cdot H$$

**式-参 5.2**

ここに、 $m$  : 重錘の質量  
 $g$  : 重力加速度  
 $H$  : 落下高さ

以上より、落下高さを 0.857m とした。

今回の衝突試験の目的は、プレキャスト壁高欄と床版との接合部の安全性及び壁高欄同士の接合部の安全性の確認であるため、3.0m 長さの DAK 式プレキャスト壁高欄を橋軸方向に 2 体並べ接合し、衝突荷重による壁高欄の設計に用いる荷重載荷として、**図-参 5.5** に示すように、壁高欄接合部の上端に、200mm×200mm の硬質ゴムを配置し、その中心に重錘を落下させた。

重錘の落下は、**写真-参 5.1** に示すように、重錘の背面にワイヤーを取り付け、クレーンでワイヤーを円弧の延長上に引張り、重錘の重心位置が所定の高さに達した後、ワイヤーを切断するという方法を取った。

また、重錘落下時の橋軸方向のずれを無くすため、重錘の両側にも、ガイドを設けた。



## 5.5 安全性の評価

試験の結果を写真-参 5.2 から写真-参 5.4 に示すが、目的とした DAK 式プレキャスト壁高欄と床版の接合部及びプレキャスト壁高欄同士の接合部の安全性について、以下の結果を得た。

- ① プレキャスト壁高欄と床版との接合部の界面の開きについては、写真-参 5.2 に示すように、目視の限り確認できなかった。
- ② プレキャスト壁高欄と床版の接合部においては、写真-参 5.3 に示すように、壁高欄同士の接合部に、微細な縦ひび割れを観測した。
- ③ 壁高欄同士の接合部においては、写真-参 5.4 に示すように、天端付近に微細な界面剥離等が確認されたが、目視の限り目立った損傷は確認されなかった。



写真-参 5.1 重錘による簡易衝突試験の状況



写真-参 5.2 天端接合部の状況



写真-参 5.3 床版接合部の状況



写真-参 5.4 天端接合部の拡大状況

以上の結果より、床版との接合部及び PBL を用いた壁高欄同士の橋軸方向の接合部には、衝突荷重による有害な損傷は無く、簡易衝突試験によるフロリダ型 SA タイプの DAK 式プレキャスト壁高欄の安全性に問題はないと評価された。

この結果を受け、衝突荷重の小さいフロリダ型 SB タイプにおいても、また、フロリダ型 SA タイプにおいても、設計上の鉄筋が配置されていれば、衝突荷重による DAK 式プレキャスト壁高欄の安全性は確保できるとした。

なお、この場合、以下の設計が基本となる。

- ① 図-参 5.4 に示すように、コンクリート強度、かぶりを考慮した RC 構造としての設計上の主鉄筋を配置し、床版からの鉄筋とプレキャスト壁高欄側からの鉄筋をそれぞれループ状に配置する。
- ② ループ鉄筋の重ね高さは、100mm 以上とする。
- ③ 図-参 5.4 に示すように、簡易衝突試験では、地覆部のハンチ筋が配置された状態で衝突安全性が確認されているため、ハンチ筋は、設計上考慮されない鉄筋であっても、基本配置することとする。

## 6. Q & A

### 6.1 概要

本Q&Aは、「DAK式プレキャスト壁高欄 設計・施工ガイドライン」の「第1章 DAK式プレキャスト壁高欄システムの特徴」から「第5章 標準施工工程」までの本文に付随し、DAK式プレキャスト壁高欄の構造（設計）、材料（製作）及び施工に関する考え方を例示したものである。

本Q&Aは、必要に応じて更新することを予定している。なお、Qは、質問事項、Aは、その質問に対する解答としている。

### 6.2 構造編

Q2-1. PBL 鋼板の板厚と孔数、孔径の決定方針は？

A2-1. 各種別の設計衝突荷重に対し、ソリッドモデルでの FEM 解析から、断面力を算定し、必要な板厚と孔径と孔の数を決定している。設計例を参考資料「2. 壁高欄（SB種）同士の接合部の標準設計例」に詳述している。

Q2-2. PBL と取付くベースプレートの板厚と溶接のど厚の決定方針は？

A2-2. 設計衝突荷重による PBL 鋼板の曲げ引張力に対し、通常の隅肉溶接の設計を行っている。設計例を参考資料「2. 壁高欄（SB種）同士の接合部の標準設計例」に詳述している。

Q2-3. プレキャスト壁高欄の溝側の縞鋼板の形状と板厚の決定方針は？

A2-3. 縞鋼板は、衝突荷重によって壁高欄接合部の左右に引張りが生じた際、PBL 孔に充填されたモルタルのせん断抵抗（PBL の引抜き抵抗）に寄与させる目的で配置しており、特に、形状、板厚の規定はない。この溝側の構造については、参考資料「5. DAK式プレキャスト壁高欄接合部の安全性に関する検討」で述べており、その安全性が確認されているため、この縞鋼板の形状、板厚等は、「第2章 設計」に示すとおり標準配置としている。

Q2-4. プレキャスト壁高欄の PBL 側背面のアンカー鉄筋及び溝側背面のアンカー鉄筋の径と長さの決定方針は？

A2-4. アンカー鉄筋は、PBL 鋼板に作用する力から、それぞれ引張り抵抗筋として配置鉄筋を決定している。PBL 側の鉄筋も応力照査で決定している。PBL 側については、参考資料「2. 壁高欄（SB種）同士の接合部の標準設計例」に詳述している。

Q2-5. プレキャスト壁高欄と床版を接合するためのループ鉄筋の縦方向の重なり（ルー

ブ継手の上下の鉄筋中心間隔)を100mm以上(図-参6.1)としている理由は何か?

A2-5. 現場施工となる間詰モルタルの充填作業の省力化を図るため、間詰め空間に手が入って作業可能な縦方向の最小空間を確保するため、少なくとも、最小のループ継手を確保できる高さとした。なお、この継手高については、参考資料「5. DAK 式プレキャスト壁高欄接合部の安全性に関する検討」に述べており、安全性が確認されている。

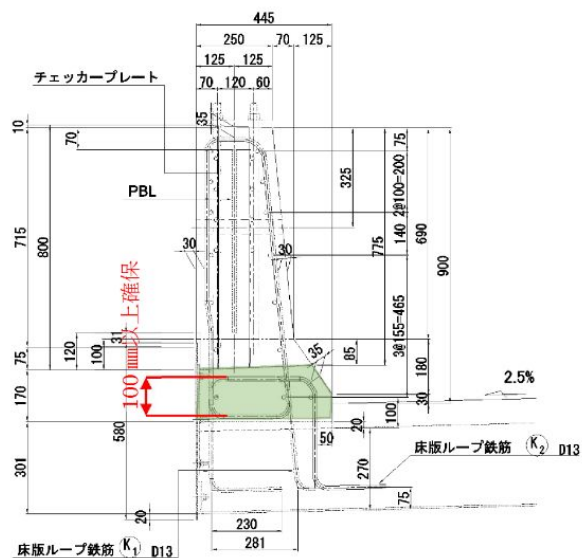


図-参6.1 ループ鉄筋の重なり長

Q2-6. ループ鉄筋の中に橋軸方向鉄筋を配置しているか、また、最低何本入れなくてはならないか?

A2-6. ループ鉄筋内の橋軸方向鉄筋は、基本的に、曲げ変形に伴うループ鉄筋の拘束効果を助成する目的であるが、現場作業を簡略化するための最低限の鉄筋配置とし、ループ継手一個につき、左右1本ずつの計2本を配置している。この配置についても、参考資料「5. DAK 式プレキャスト壁高欄接合部の安全性に関する検討」に述べており、安全性が確認されている。

Q2-7. 図-参6.2に示されるプレテンションPC床版との接合方法を標準と考えてよいか?

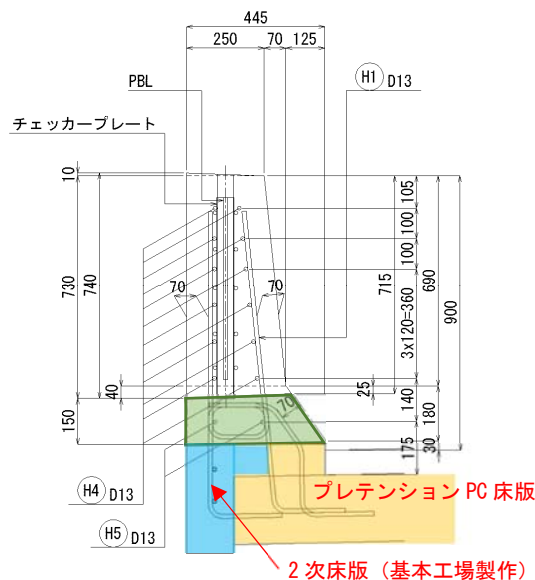


図-参6.2 プレテンションPC床版との接合例

A2-7. 標準ではなく参考として記載しているもので、床版端部の水切り部の形状については、現在、橋梁毎に検討されており、実績も種々多様であることから、今後の細目検討結果を踏まえて標準化(標準方針)を提示できればと考えている。

Q2-8. 設計荷重として遮音壁荷重や風荷重を考慮しているか?

A2-8. 一般的な全ての荷重・ケースは考慮している。

- Q2-9. 遮塩性に関し、コンクリート表面の塩分量はどのように考えているのか？
- A2-9. 既存の壁高欄の塩分量測定の結果から、Fick の第 2 法則を用い、実測値とのフィッティング曲線を求め、その結果を用い、また、コンクリート標準示方書（土木学会）の規定を参考に、コンクリート表面の全塩化物イオン濃度を  $13.0\text{kg}/\text{mm}^3$  としている。これをもとに、DAK 式プレキャスト壁高欄の遮塩性に対する耐久性の評価を行っている。耐久性の評価については、**参考資料「1. 耐久性評価の具体検討例」**に詳述している。
- Q2-10. 簡易衝突試験は SA タイプで実施ということだが SS タイプ適用は問題ないか？
- A2-10. 簡易衝突試験は、SA タイプで実施済みであり、その安全性が確保されていることから、先ず、壁高欄と床版とのループ継手については、通常の壁高欄の設計で算出される主鉄筋をループ継手に変更するだけでよい。また、壁高欄同士の継手についても同様である。これらについては、「**第 2 章 設 計**」及び**参考資料「5. DAK 式プレキャスト壁高欄接合部の安全性に関する検討」**に詳述している。
- Q2-11. DAK 式プレキャスト壁高欄は NEXCO 限定か？
- A2-11. 今後のためには幅広く適用できるようにしたいが、本ガイドラインについては、「**第 1 章 1.4 適用の範囲**」にも示したとおり、当面は、NEXCO 対応としているが、その他の発注者で検討頂くのは問題ない。これは、NEXCO の場合、SB 種及び SS 種の壁高欄種別について、標準的なスペックにしているためであり、他の発注者で検討頂く場合は、そのスペックに合わせて頂ければ結構。また、今後、NEXCO 以外で実績が出来れば、本ガイドラインを改定する意向である。
- Q2-12. 耐久性を盛り込むにあたり、コンクリート表面の全塩化物イオン濃度を  $13\text{kg}/\text{m}^3$  としたときのあたり計算はなされているのか（鉄筋かぶり位置における塩分濃度  $2.4\text{kg}/\text{m}^3$  で評価等）？
- A2-12. DAK 式プレキャスト壁高欄システムとしての耐久性評価については、**参考資料「1. 耐久性評価の具体検討例」**で詳細に検討しており、基本的には、Fick の第 2 法則に則り、また、鉄筋位置での許容塩分量については、コンクリート標準示方書（土木学会）の鋼材腐食発生限界濃度を基本として検討している。
- Q2-13. 溝側壁高欄の縞鋼板を設置した溝の形が、鉄筋かぶりで形状が変わるが、安全性に問題ないか？
- A2-13. 先ず、**図-参 6.3**に示すように、溝側の形状を逆台形にしているのは、①橋梁の平面線形に伴う壁高欄同士の接合部の角折れに対し、施工誤差を含む施工上の PBL の配置を考慮しての事、②衝突荷重による面外変形に伴って接合部に生じる引張力

に対し、PBLの孔のモルタルから伝達される支圧応力を、逆台形の水平部に傾斜を付けることによって、より効果的に抵抗させる事による。衝突荷重時レベルでは、接合部に生じる軸引張力は、大きくなく、壁高欄は、基本的に連続構造であるため、接合部が橋軸方向に大きく開く挙動にはならない。従って、かぶりが大きくなる事により、逆台形の水平部の傾斜は緩くなるが、PBLの孔から伝達される挙動は同様と考えており、また、縞鋼板の使用により、縞鋼板とモルタルの滑り抵抗も大きいことから、安全性に問題ないと考えている。

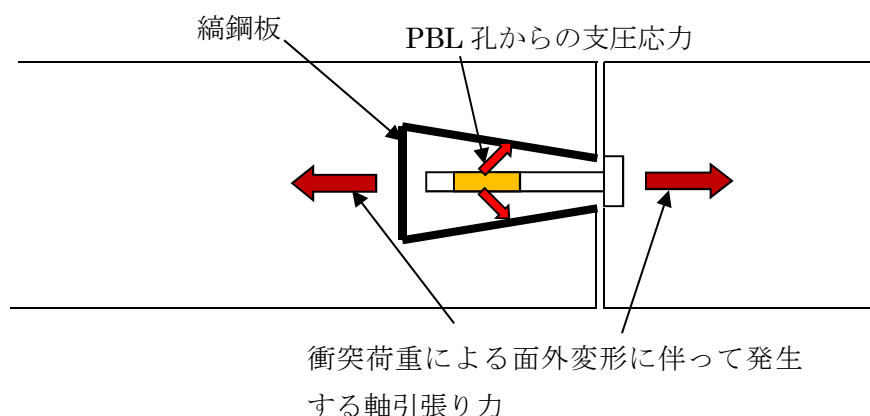


図-参 6.3 壁高欄接合部の PBL 孔から伝達される力の概念図

### 6.3 材料編

Q3-1. プレキャストブロックに混合している高炉スラグ微粉末ブレーン値 [4000or6000] の違いによる影響度は整理されているか？

A3-2. 基本は、4000 ブレーンで考えており、特に、初期強度、性能規定、塩害に対する耐久性評価等については、4000 ブレーンの配合で評価している。しかしながら、6000 ブレーンについては、上記の性能に対し、比表面積が大きくなることから、良好となる方向と理解しており、ブレーン値の差に伴う影響度の評価は行っていない。

Q3-2. 製作 6 社で配合を変えることは可能か？

A3-2. DAK 式プレキャスト壁高欄自体は、基本的に「第 1 章 1.3 使用材料の要求性能」を満足すればよい。壁高欄と床版との接合に用いる間詰モルタルについても「第 1 章 1.3 使用材料の要求性能」で規定している。この間詰めモルタルについては、DAK 式プレキャスト壁高欄システムとして、DAK 式プレキャスト壁高欄と高耐久間詰めモルタル「商品名：リペアメント NS」全体を一つのパッケージシステムとしている。

Q3-3. リペアメント NS は、防水工の付着性に問題はないか？

A3-3. 無機系のため防水工との付着性には問題はないと考えている。

Q3-4. 間詰材であるリペアメント NS は、性能を満足すれば、別の材料を使っても良いか？

A3-4. 特許の関係で、A3-2. で述べたとおりであり、基本的には、指定材料となっている。

Q3-5. PBL 縦継ぎ手回りの溶接仕様を教えてください。

A3-5. PBL の取付け部の溶接は隅肉溶接の脚長 6mm、その背面に取り付けるアンカーバーは隅肉全周溶接の脚長 6mm になる。溝側のチェッカープレート（縞鋼板）に取り付ける馬蹄形アンカーはフレア溶接で 35-80 並列としている。また、溝側チェッカープレート（縞鋼板）の折り曲げ加工が不可能な場合は背面中央で分割し、突合せ溶接としている。

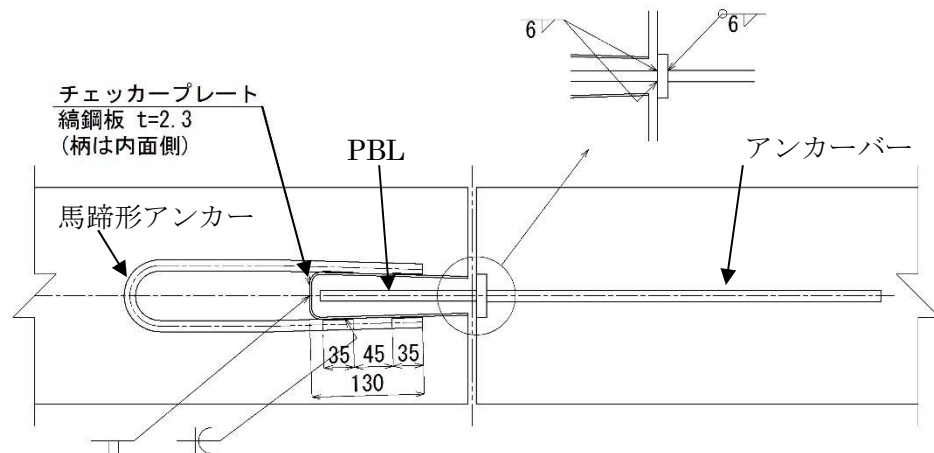


図-参 6.4 壁高欄接合部の断面図

#### 6.4 施工編

Q4-1. プレキャスト壁高欄から露出する鋼材の防錆方法はどのように考えているか？

A4-1. 基本的には、製作工場でのストック期間を考慮して防錆材を決定すればよい。実績では「サビラーズ」を塗布しているが、壁高欄全体の耐久性を含め検討することが望ましい。

Q4-2. 出来形検査は工場で行うのか、また出来形管理の時期と頻度はどのように考えているのか？

A4-2. 実績では、鉄筋組立、形状の出来形は工場、据付確認は現場で行っており、基本的に工場ですることができるものは全て工場で行い、現場ですることができないものは現場で行うこととして、いわゆる製作面の検査は工場、施工面の検査は現場となる。これらについて

は、「第3章 製作」及び「第4章 施工」で管理値を含め紹介している。

Q4-3 プレキャスト壁高欄の建て込みや高さ調整はどうしているのか？

A4-3 基本的には、高さ調整用のボルトを別途床版に打ち込んだり、プレキャスト壁高欄側に予め埋め込んで建て込んだ状態で高さ調整している例はあるが、特に決まった方法はない。「第4章 施工」に述べているので参考にしてほしい。



## 7. DAK式プレキャスト壁高欄に関する論文

1. プレキャスト壁高欄の新たな接合方法の開発  
～第9回複合・合成構造の活用に関するシンポジウム～
  
2. その他文献
  - 1) 青木圭一、上平謙二、神崎隆男、田中嘉一、高木絹華、田村辰也：急速施工と高耐久性を目指した新たなプレキャスト壁高欄の開発と衝突安全性能、橋梁と基礎（2013.3）
  - 2) 真田 修、倉田朋和、佐藤徹也、竹沢正文、北川 学、黒木 武：用宗高架橋（下り線）の床版取替工事、橋梁と基礎（2017.1）
  - 3) 黒木 武、北川 学、真田 修、倉田朋和：東名高速道路 用宗高架橋（下り線）の床版取替え工事、プレストレストコンクリート（MAR-APR. 2017 Vol. 59 No. 2）

# プレキャスト壁高欄の新たな接合工法の開発

青木 圭一<sup>1</sup>・上平 謙二<sup>2</sup>・田中 嘉一<sup>3</sup>・高木 絹華<sup>4</sup>

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

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

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

E-mail:uehira\_kenji@dccorp.jp

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

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

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

E-mail:takagi@kckk.co.jp

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

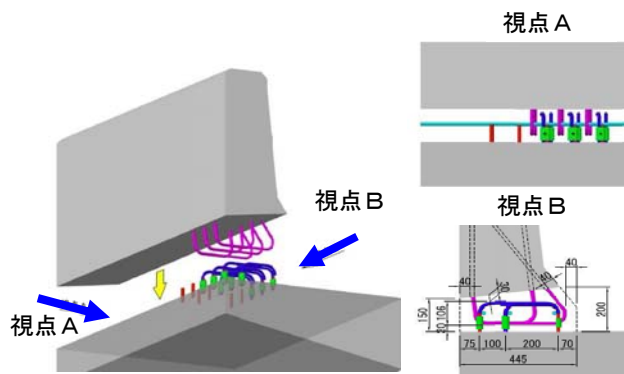
**Key Words :** precast concrete railing, rapid construction, joint, perfobond shear connector, FEM

## 1. 開発の背景と構造概要

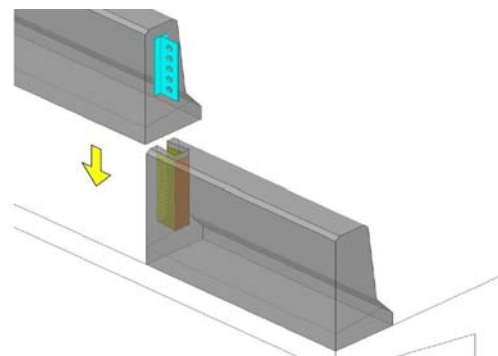
モータリゼーションの発展により、防護柵に関する設計基準も時代の要請に応じて所要の改訂が行われてきた。竣工時には、当時の安全基準を満たしていた壁高欄も、現在では要求性能に満たないケースも少なくない。加えて、老朽化した壁高欄も目立ってきており、交通安全上重要な施設の1つである壁高欄の適切な対応が求められている。

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

筆者らは、これら課題を解決すべく、プレキャスト壁



(a) 既設床版とPca壁高欄の接合工法



(b) Pca壁高欄同士の接合工法

図-1 新規に開発した接合工法のイメージ

高欄の接合工法を新規に開発した。①床版と壁高欄基部との接合方法(図-1(a))は、床版上面に配筋された機械継手式鉄筋とプレキャスト壁高欄の矩形ループ鉄筋を重ね合わせ、かつ、それらのループ鉄筋内に連続する複数の補強鉄筋を配置し、高強度モルタルを打設して一体化する構造である。②壁高欄同士の接合方法(図-1(b))は、孔あき鋼板ジベル(以下、PBLと呼ぶ)を有する部位(オス側)を縞鋼板からなる箱断面内(メス側)に挿入し、高強度モルタルを充填して一体化を図る構造である。

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

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

## 2. 橋軸方向の接合構造(PBL)の設計思想

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

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

## 3. 解析手法の妥当性の検証

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

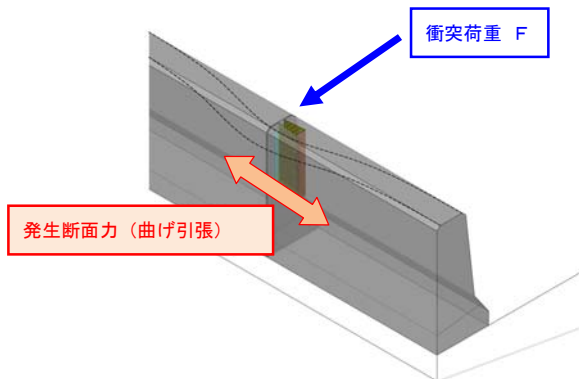


図-2 橋軸方向の発生断面力の概念

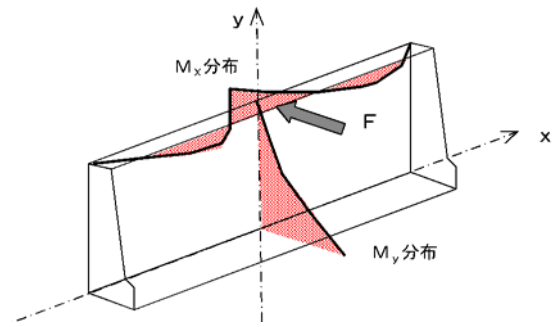


図-3 壁高欄の設計曲げモーメントの分布図

### (1)現行設計基準

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

#### a)高さ方向のモーメント ( $M_y$ )

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

ここに、

$\alpha_R$ : 縦(高さ)方向断面係数 = 0.5

F: 衝突荷重 (kN)

L: Fの作用位置から断面照査位置までの高さ (m)

B: 有効幅 =  $2 \times L$  (m)

#### b)道路軸方向のモーメント ( $M_x$ )

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

ここに、 $\beta_R$ : 横(道路軸)方向断面係数 = 0.25

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

### (2)土研共同研究で得られた知見の整理

#### a)検討概要

共同研究における検討モデルは、図-4に示すように、

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

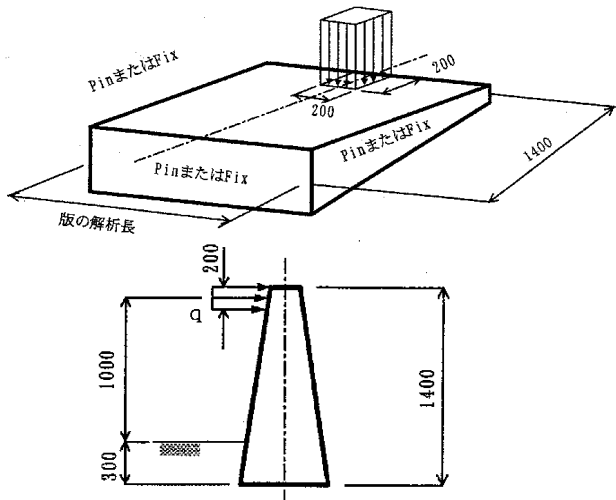


図-4 検討モデル (単位: mm) <sup>2)</sup>

表-1 検討ケース

防護柵	三辺支持条件	版の解析長	備考
単スロープ型	Pin - Fix	3m	
		6m	
		9m	
F型	Fix - Fix	3m	
		6m	
		9m	
Pin - Pin	Pin - Pin	3m	
		6m	
		9m	

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

表-2 使用定数

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

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

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

### b) FEM解析上の知見

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

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

は見られない。

### (3)復元解析による妥当性の検証

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

#### a)復元解析の諸条件

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

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

なお、左右対称であるため、荷重荷重位置センターより左側を解析領域とした。

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

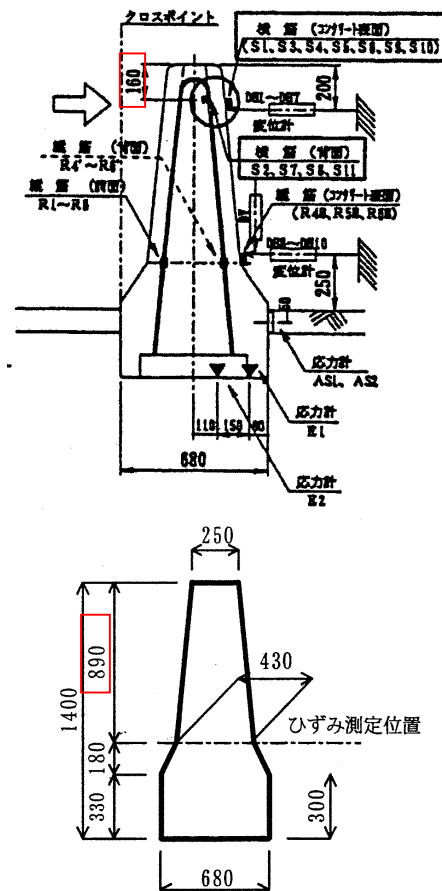


図-5 解析対象の形状及びひずみ測定位置  
(横筋: 上図; 縦筋: 下図)

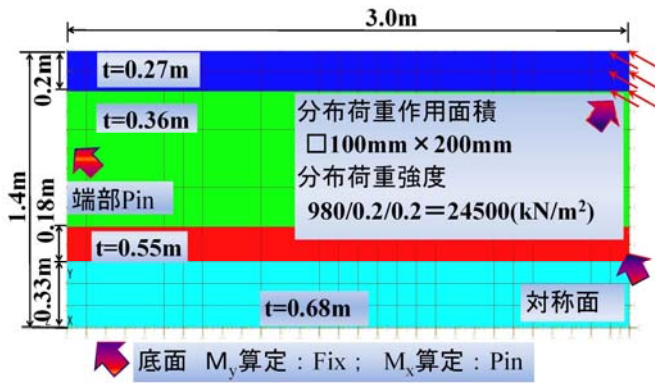


図-6 解析モデル図

表-3 土研共同研究の解析結果との比較

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

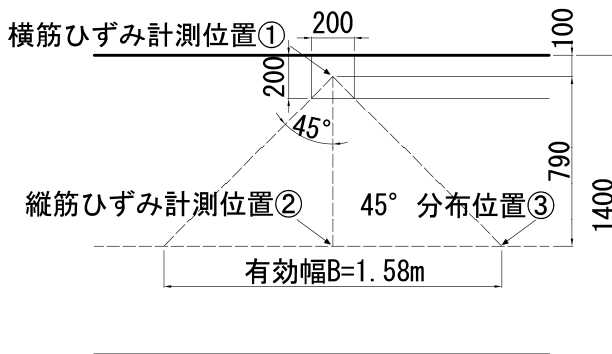


図-7 断面力算定位置図

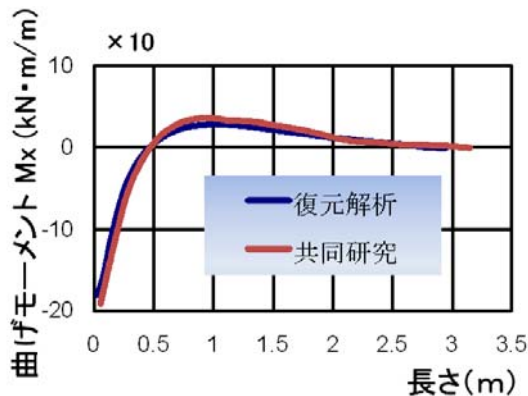


図-8 Pin-Fixの場合の道路軸方向曲げモーメント図

**b)解析結果と考察**

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

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

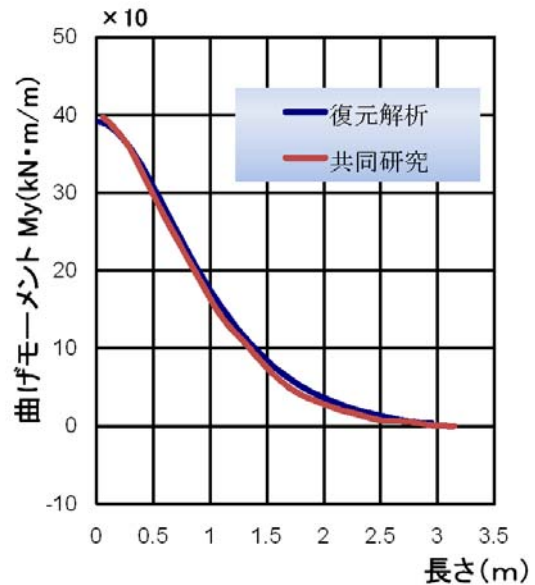


図-9 Pin-Fixの場合の高さ方向曲げモーメント図

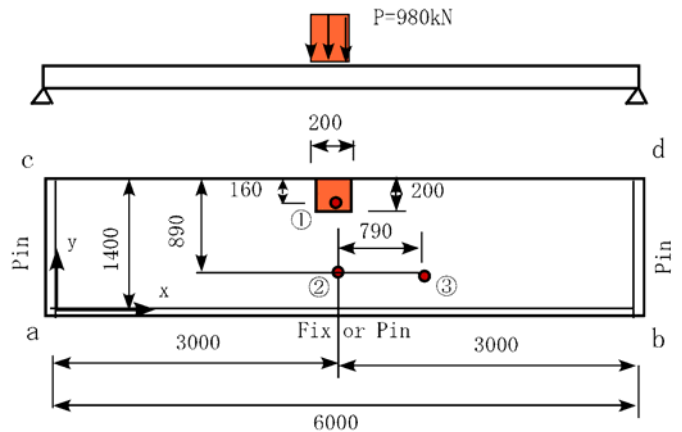


図-10 平板理論による解析モデル図

**(4)平板理論との比較による妥当性の検証**

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

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

以下に、その結果とFEM解析との比較結果を示す。

**a)平板解析の諸条件**

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

表-4 FEM解析結果との比較

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

### b)解析結果と考察

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

解析結果を比較することで判明した事項および考察を以下に整理する。

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

## 4. 橋軸方向接合部の設計断面力の算定

### (1)解析条件

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

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

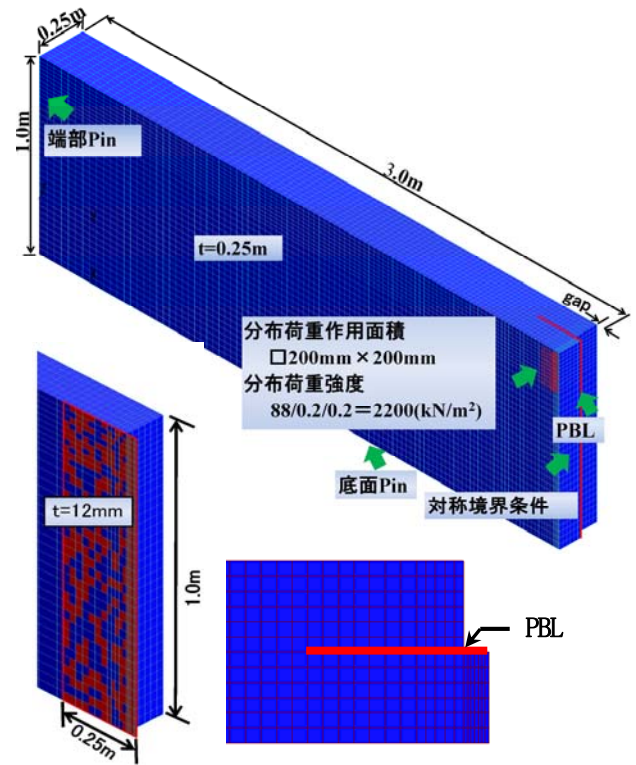


図-11 接合部の断面力算定に用いた解析モデル

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

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

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

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

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

## (2)解析結果

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

また、把握できた事項を以下に整理する。

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

## 5. 橋軸方向接合部 (PBL) の設計

### (1)PBLのせん断耐力

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

#### a)PBLの設計せん断耐力 (1孔あたり)

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

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

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

ここに、

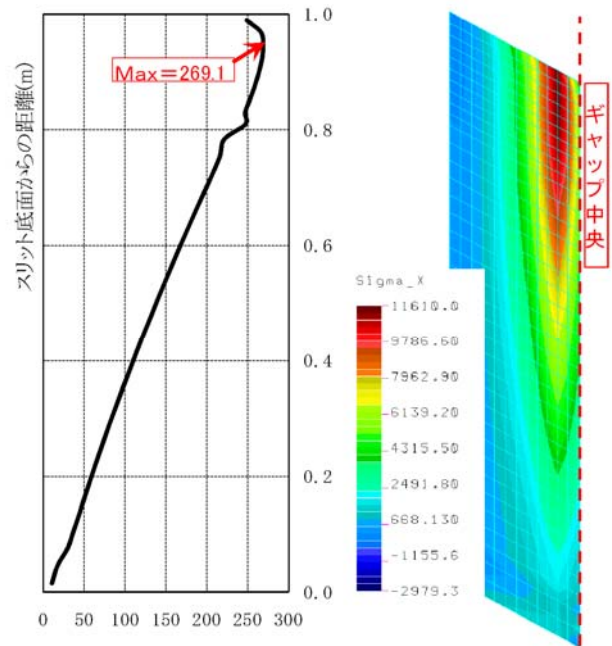
$V_{psud}$  : 孔あき鋼板ジベル孔1個あたりの設計せん断耐力 (N)

$d$  : 孔径 (mm)

$t$  : 鋼板の板厚 (mm)

$f'_{cd}$  : コンクリートの設計圧縮強度 (N/mm<sup>2</sup>)  
ただし、ここでは $\gamma_c=1.0$ として設計圧縮強度を求めるものとした。

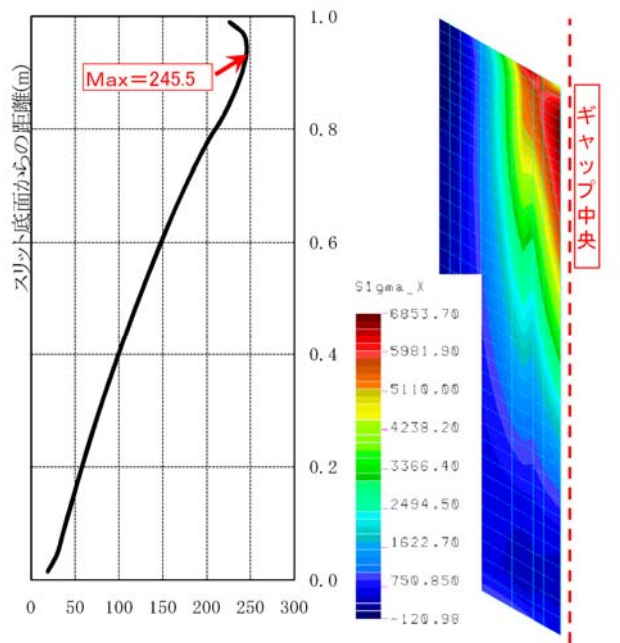
$\gamma_b$  : 部材係数



スリット中央線上の引張力 $N_x$ (kN/m) 応力 $\sigma_x$ (kN/m<sup>2</sup>)の分布

図-12 PBLの引張力の分布と $\sigma_x$ の分布

Case1 : gap幅=10mm



スリット中央線上の引張力 $N_x$ (kN/m) 応力 $\sigma_x$ (kN/m<sup>2</sup>)の分布

図-13 PBLの引張力の分布と $\sigma_x$ の分布

Case2 : gap幅=70mm

孔あき鋼板ジベルのせん断耐力を小さく設定した方が構造物の性能を危険側に評価する場合には、1.0、逆の場合には1.3とする。

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

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

**b)鋼板のせん断耐力**

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

ここに、

- $V_{sud}$  : 孔間の鋼板のせん断耐力 (N)
- $f_{yd}$  : 鋼材の設計引張降伏強度 (N/mm<sup>2</sup>)
- $A_s$  : 鋼板のせん断抵抗面積 (mm<sup>2</sup>)
- $\gamma_b$  : 部材係数

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

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

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

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

**c)設計で使用したPBLの設計せん断耐力 (1孔あたり)**

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

ここに、

$\rho$  : モルタルの場合の低減係数 ( $\rho=0.1$ )

**(2)PBLの構造諸元の基本計画**

PBLの構造細目を設定する上での基本的な考え方を以下に整理する。

- ①PBLの板厚は、PBLの孔の中のコンクリートの割裂破壊を生じさせないための最小厚 (t) として、土木学会の推奨値を準用し、12mmとした。
- ②PBLの孔径 d は、40mm 以上とし、孔と孔の中心間隔は、2d を確保した。(土木学会の推奨値 1.6~2.8 倍の範囲内で経験的な見知から設定)
- ③PBLの鋼板と孔部の縁端距離は、コンクリートジベルの耐力 ( $V_{psud}$ ) を勘案の上、鋼板の縁端距離が構造弱点とならない距離を確保する。  
具体的には、 $V_{psud} < V_{sud}$  の関係を確認し、縁端距離は b 以上 (b は鋼板の孔間距離) を確保するものとし、照査の結果、縁端距離は、40mm 以上を

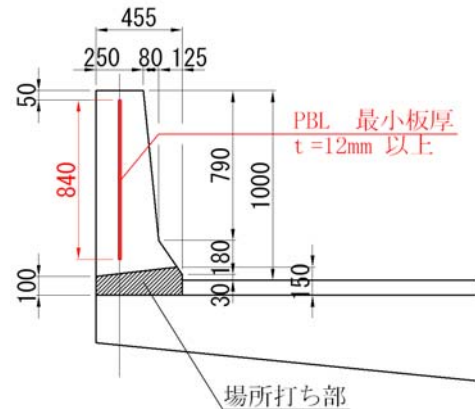
確保するものとした。

- ④最上縁のコンクリートジベルのせん断伝達が十分に図れるよう、コンクリートジベルの中心から 45° 方向のせん断抵抗面が、高欄天端ライン内に収まるよう、再上縁コンクリートジベルの位置を設定した。加え、接合部は場所打ちとなるため、これに対応する適切な鋼材かぶり厚を確保するものとした。
- ⑤橋軸方向継手部には、連続した鋼材が配置されないため、PBLは可能な限り下端まで配置する方針とした。なお、壁高欄内に通信管路の配置計画等がある場合は、PBLの配置高さを後で調整する必要がある。

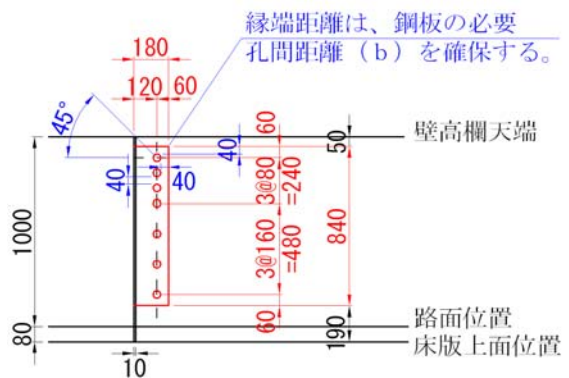
**(3)コンクリートジベルの配置検討**

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

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



(a)断面図



(b)側面図

図-14 PBL配置の基本計画案



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

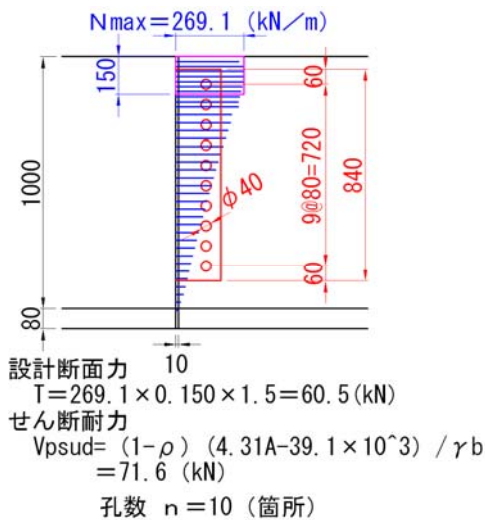


図-15 ジベル配置Case 1

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

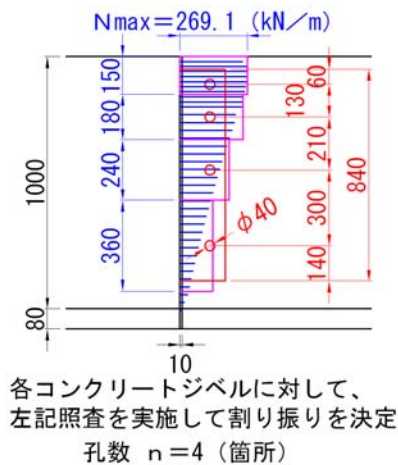


図-16 ジベル配置Case2

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

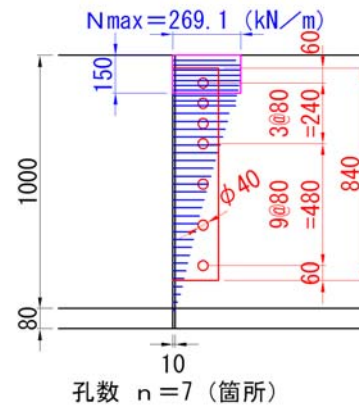


図-17 ジベル配置Case3

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

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

#### 参考文献

- 1) 日本道路協会：車両用防護柵標準仕様・同解説, H16. 3.
- 2) 建設省土木研究所道路部交通安全研究室, 日本道路公団試験研究所, (社)セメント協会ほか, 高速化対応型コンクリート製防護柵に関する共同研究報告書, 平成10年6月
- 3) 土木学会：複合構造標準示方書(2009年制定) pp.64~66, 2009. 12
- 4) 新谷英司, 蛭名貴之, 上平謙二, 柳田文夫：波形鋼板とコンクリート床版の結合方法に関する実験的研究, プレストレストコンクリート技術協会 第9回シンポジウム論文集, pp. 91~96, 1999. 10
- 5) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説, I 共通編, H14. 3

## DEVELOPMENT OF NEW JOINT METHOD FOR PRECAST CONCRETE RAILING

Keiichi AOKI, Kenji UEHIRA, Yoshikazu TANAKA and Kinuka TAKAGI

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

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

**【問合せ窓口】**

- ・ DAK 式プレキャスト壁高欄 工法研究会 技術委員会  
TEL : 03 (3985) 5075 FAX : 03 (3985) 5901  
E-mail : dak-mail@kckk.co.jp
- ・ DAK 式プレキャスト壁高欄 工法研究会 事務局  
TEL : 044 (221) 2113 FAX : 044 (221) 2118  
E-mail : k-tooyama@dc-corporation.jp  
URL : <http://www.dak-pc.org/>

※無断転載・複製を禁ずる。

D A K