

厳しい塩害環境下で高い耐久性を確保

CFCC スラブ

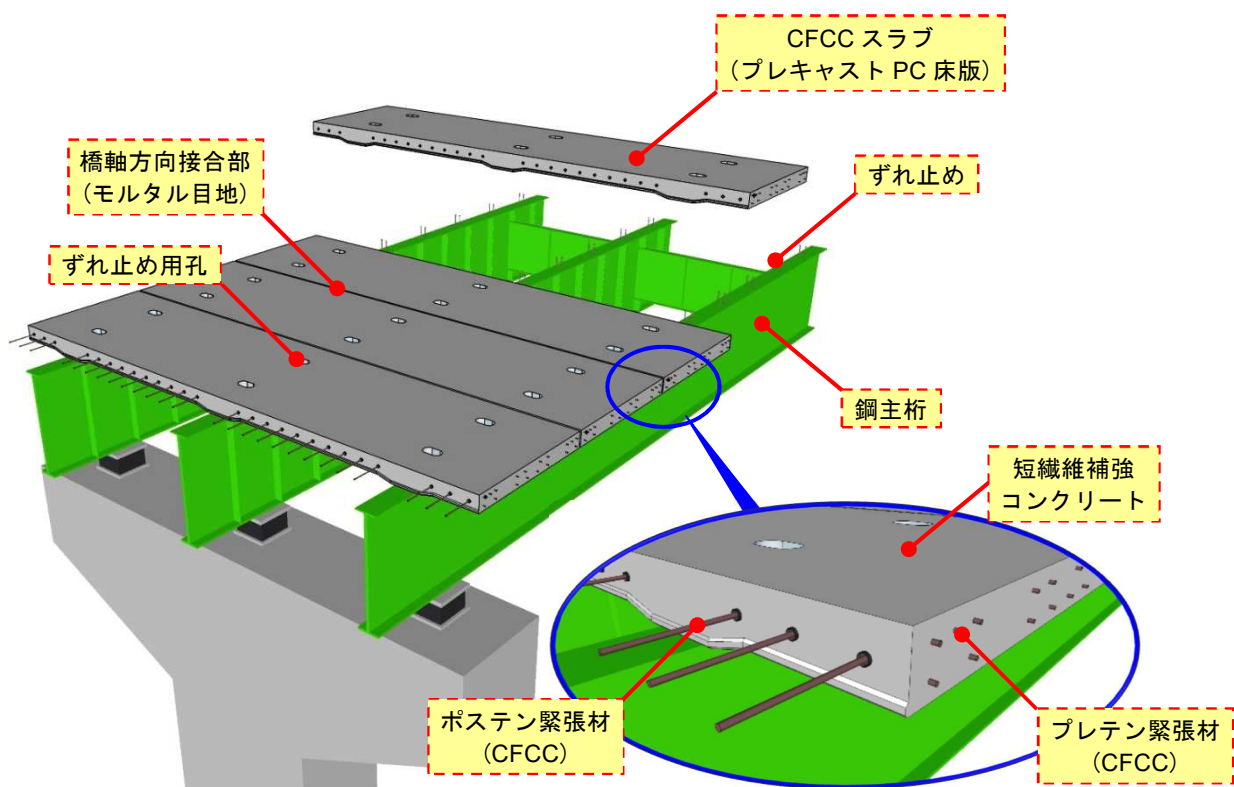
炭素繊維複合材ケーブル(CFCC®)を使用したプレキャスト PC 床版

■ 概要

近年、鋼橋の床版の新設・更新工事においては、工期短縮や耐久性向上、生産性向上を図るために、プレキャスト PC 床版の採用が増加しています。

CFCC スラブは、腐食しない構造材料である CFCC®（炭素繊維複合材ケーブル）を緊張材として使用し、床版支間方向および橋軸方向の2方向にプレストレスを導入したプレキャスト PC 床版です。さらに、短繊維補強コンクリートを採用することで緊張材以外の補強材を削減し、コスト削減を図りました。

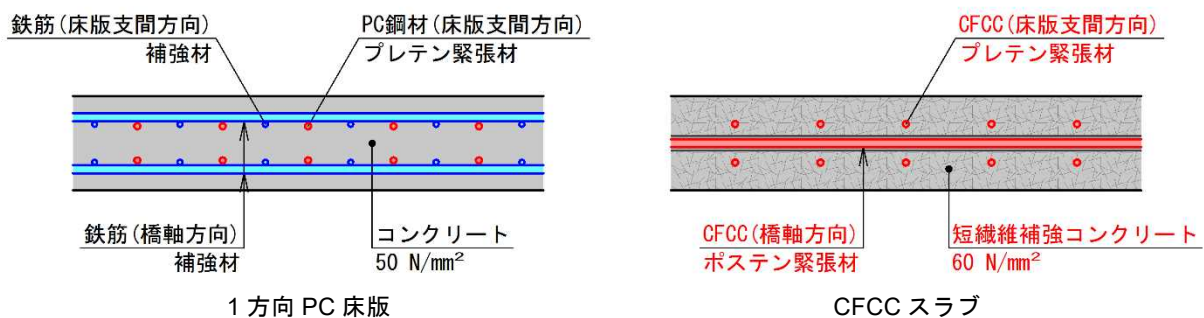
CFCC スラブは、道路橋示方書に規定される耐久性確保の「方法3」に相当し、耐久性確保の確実性や LCC の低減の観点から、海岸付近や凍結防止剤が散布される地域などの厳しい塩害環境下での活用が期待されます。



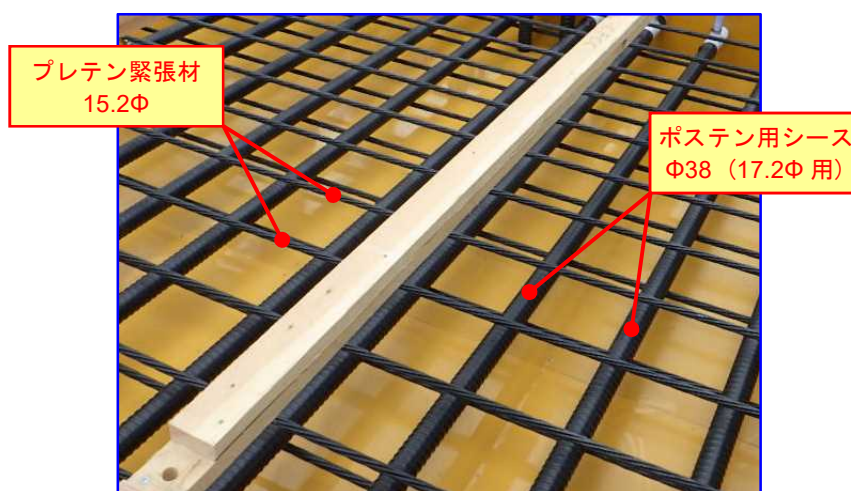
【CFCC スラブの概要】

■ 構造の特徴

- 緊張材に高耐食、高強度、高弾性で軽量な CFCC®（炭素繊維複合材ケーブル）を使用
 - 道路橋示方書に規定される耐久性確保の「方法 3」に相当。
 - 塩害環境でのかぶり厚の増加（床版厚の増加）が不要。
 - 同一床版厚の PC 床版に比べて 6 % の重量減（単位体積重量 23.0 kN/m³）。
 - 劣化因子の浸透が懸念される合成桁のずれ止め用孔や排水樹近傍への配置が可能。
 - PCa 床版の目地部からの劣化因子の浸透に対するポステン緊張材の確実な耐久性確保。
 - 定着部も非金属製の構造。
- 高強度短繊維補強コンクリート（ $\sigma_{ck} = 60 \text{ N/mm}^2$ 、繊維量 0.5 vol%）を使用
 - 緊張材以外の補強材（鉄筋相当）の削減によるコスト縮減。
 - 最小補強材量の非配置に対するせん断耐力の確保。
- 疲労耐久性に優れた 2 方向 PC 構造の採用
 - 床版支間方向はプレテンション方式、橋軸方向はポストテンション方式。
 - プレキャスト PC 床版の橋軸方向接合部はモルタル目地（幅 30 mm、 $\sigma_{ck} = 60 \text{ N/mm}^2$ ）。



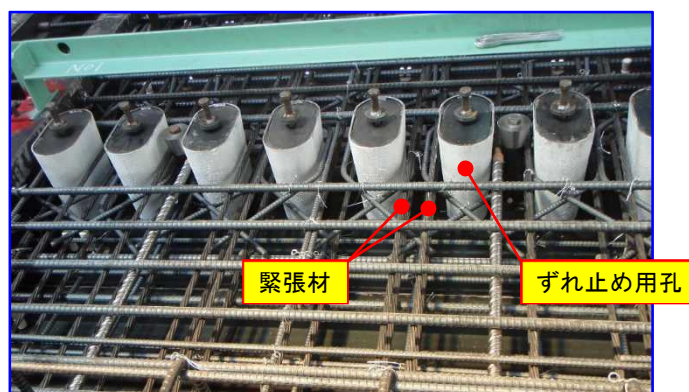
【一般的な 1 方向 PC 床版と CFCC スラブとの比較】



【輪荷重走行疲労試験用供試体での CFCC 緊張材配置状況】

【耐久性確保の方法（道路橋示方書Ⅰ共通編6.2）とコンクリート部材への具体例】

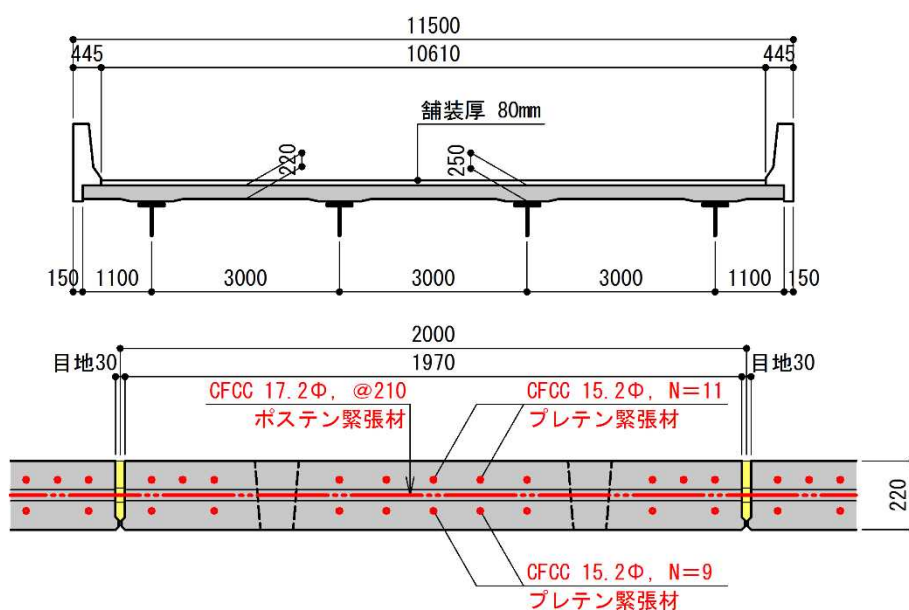
区分	具体の方法	コンクリート部材への具体例
方法1	劣化の影響を考慮した断面寸法	かぶりの確保
方法2	断面寸法とは別途の対策を付加	塗装鋼材，コンクリート塗装の併用
方法3	劣化の影響がないとみなせる材料	耐食性に優れた材料の使用



【合成桁用 PCa 床版のずれ止め用孔近傍の PC 鋼材配置例】

■ 試設計例

- 変動作用支配状況に対し $\sigma_c \geq 0 \text{ N/mm}^2$ （床版支間方向，橋軸方向）
 - 緊張材以外の補強材（引張応力を負担する鉄筋相当）を削減。



【道路橋示方書・同解説（2017 年版）に準拠した試設計例】

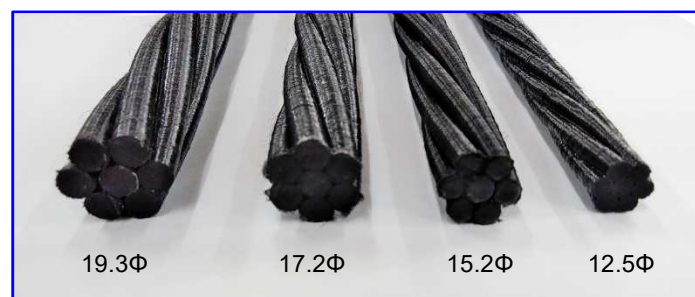
■ CFCC®とは

● CFCC® (Carbon Fiber Composite Cable)

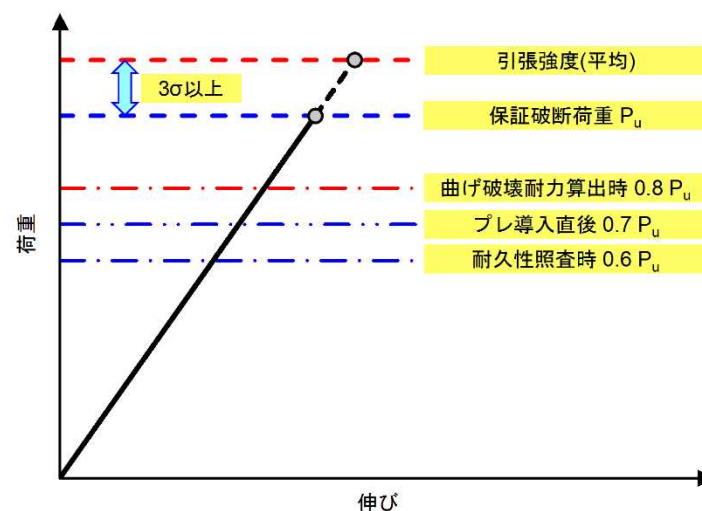
- 炭素繊維と熱硬化性樹脂を複合化し、撚り合わせて成形したケーブル。
- PC 鋼材に比べてヤング係数が低いので、クリープ・乾燥収縮による緊張力の減少が少ない。
- 保証破断荷重に対する設計用値の設定は PC 鋼材に準拠。

【CFCC スラブに使用する CFCC の仕様例】

呼称	1×7 12.5Φ	1×7 15.2Φ	1×7 17.2Φ	1×7 19.3Φ
直径	12.5 mm	15.2 mm	17.2 mm	19.3 mm
有効断面積	76.0 mm ²	115.6 mm ²	151.1 mm ²	186.7 mm ²
保障破断荷重	184 kN	270 kN	385 kN	445 kN
単位長質量	145 g/m	221 g/m	289 g/m	355 g/m
有効ヤング係数	1.50×10 ⁵ N/mm ² ±5%			
リラクセーション率	1.3 %			
線膨張係数	0.6×10 ⁻⁶ /°C			



【CFCC の外観】



【CFCC の設計用値】

■ CFCC プレテンション部材の製作

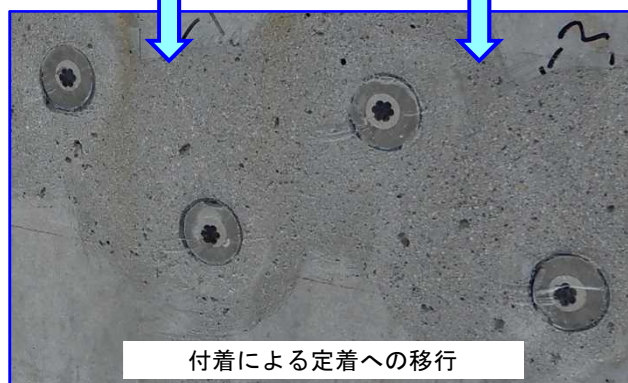
- 通常の PC 工場で製作可能
 - 専用の接続具で PC 鋼より線と接続し、製造ラインのアバットに定着。



【PC 工場のプレテンラインでの PC 鋼線との接続例】

■ CFCC ポストテンション定着部

- 非金属製の定着部
 - ポステン緊張時は金属製の定着具を使用。
 - グラウト硬化後に金属性定着具を切断し、グラウトの付着による定着に移行。
 - 港湾栈橋の合成床版で、20 年以上の耐久性、プレストレス量の維持を確認。

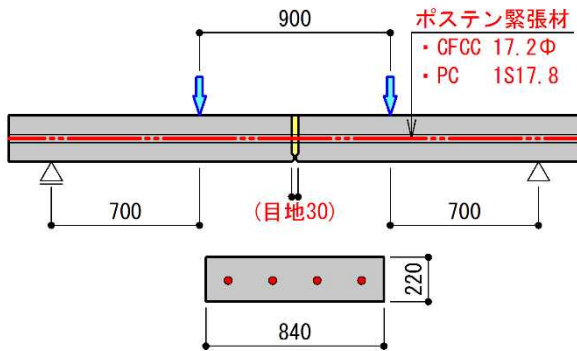


【CFCC の非金属ポストテンション定着部の例】

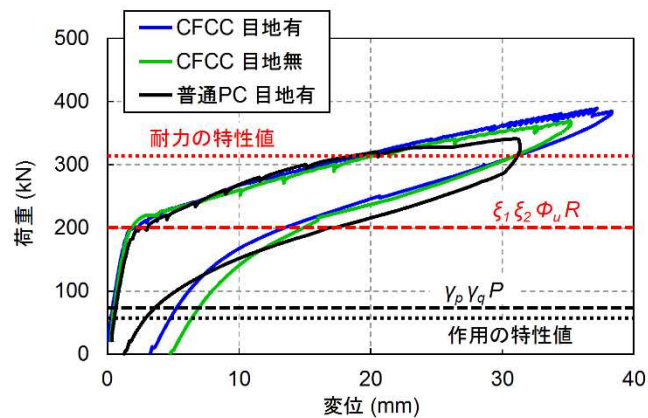
■ 力学的性状

● 橋軸方向接合部の曲げ性状

- 定点疲労試験（床版の設計曲げモーメントで 200 万回载荷）後に静的曲げ破壊試験を実施。
- 従来の PC 鋼材を使用した床版目地接合部と同等の曲げ破壊耐力，じん性を確保。
- 曲げ破壊耐力の実験値は，曲げ破壊耐力の特性値（道路橋示方書）の約 1.2 倍。

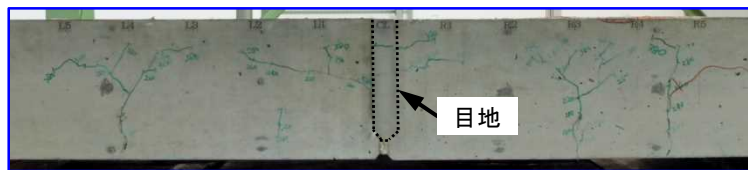


【静的曲げ破壊試験の概要】

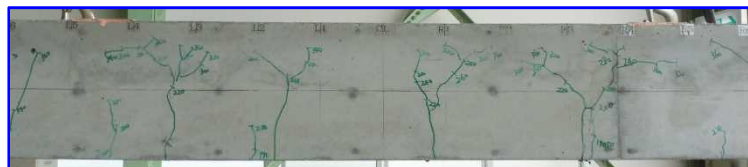


【定点疲労試験後の静的曲げ破壊試験結果】

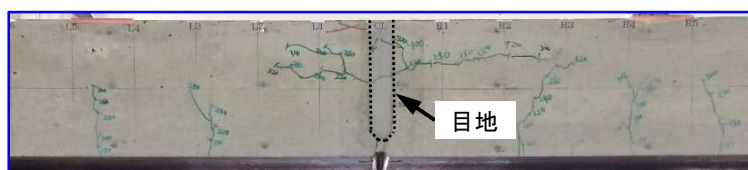
CFCC 目地有



CFCC 目地無



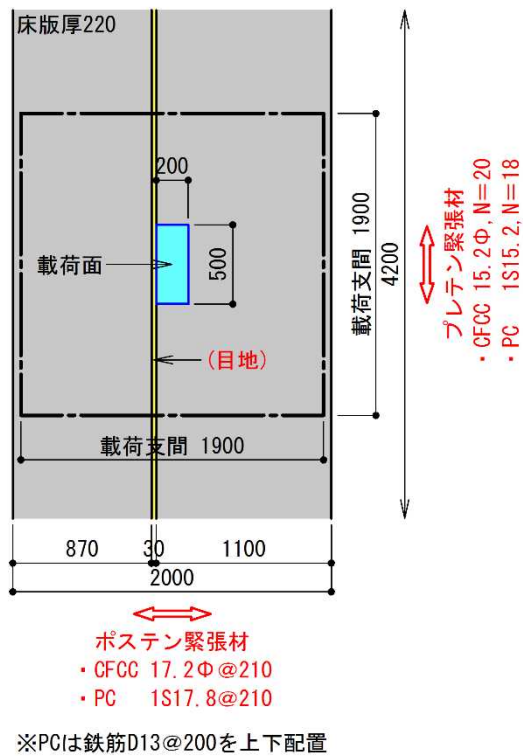
普通 PC 目地有



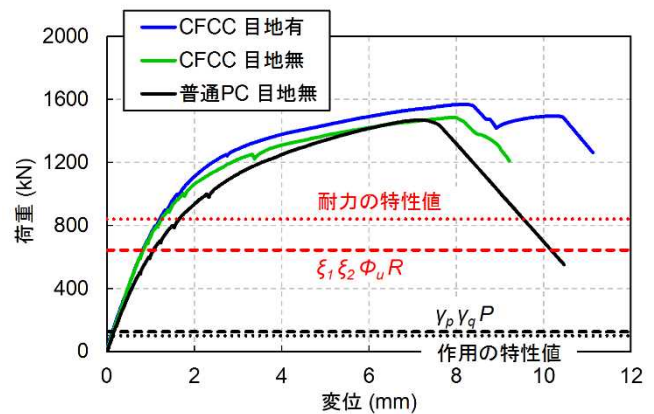
【曲げ破壊状況】

● 押抜きせん断耐力

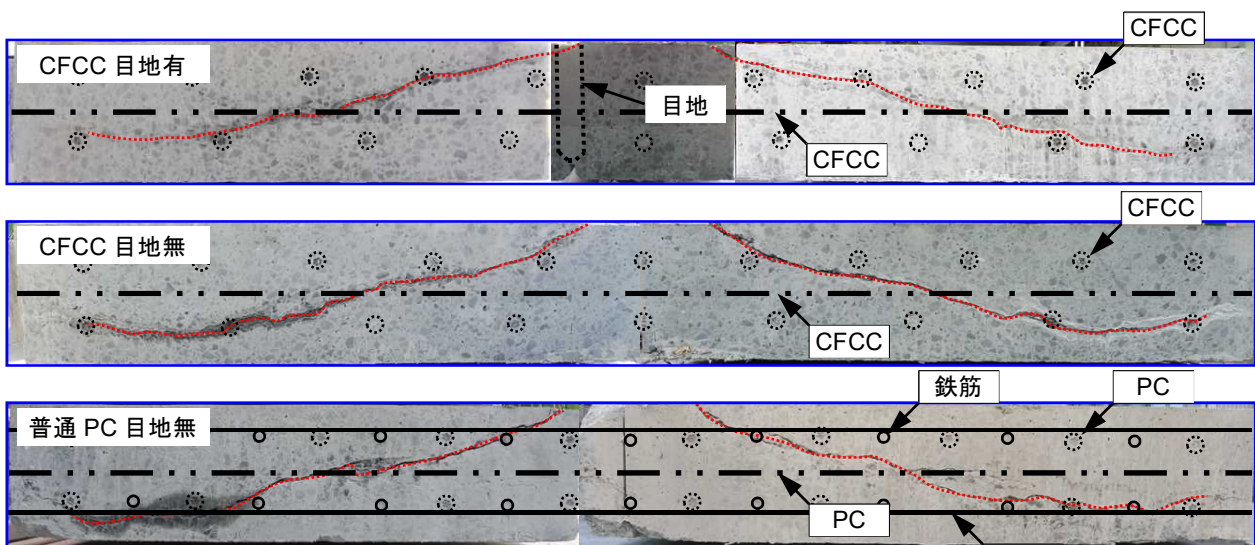
- 輪荷重の載荷寸法で押抜きせん断破壊試験を実施。
- 目地のある構造でも、従来の2方向PC床版（目地無）と同等の押抜きせん断耐力。
- ひび割れは目地部を貫通し、せん断キーが無くても目地部は一体として挙動。
- 押抜きせん断耐力の実験値は、押抜きせん断耐力の特性値（道路橋示方書）の約2倍。



【押抜きせん断試験の概要】



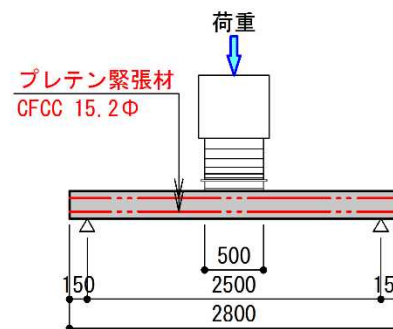
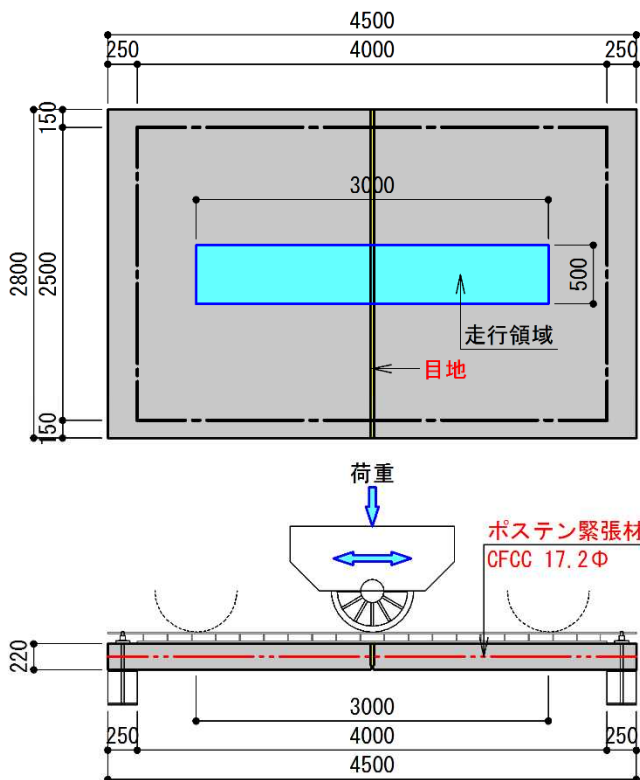
【押抜きせん断破壊試験結果】



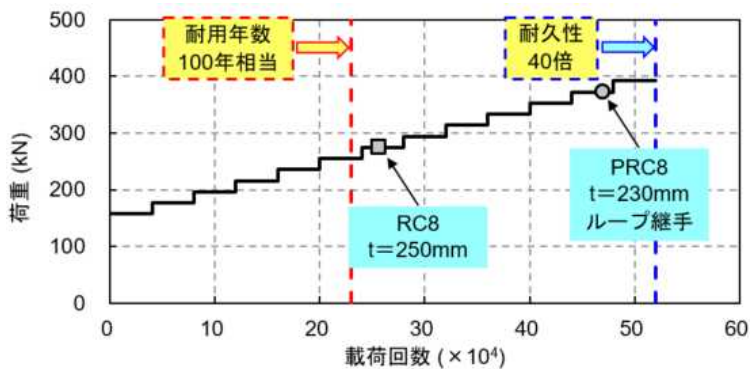
【押抜きせん断破壊状況（橋軸方向切断面）】

■ 輪荷重走行疲労試験の概要

- 移動荷重に対する疲労耐久性の確認を目的に実施
 - 第1ステップ載荷荷重：100 kN（T 荷重）× 1.3（衝撃）× 1.2（安全係数）≒ 156.9 kN。
 - 乾燥状態で実施。
 - 耐用年数 100 年相当の累積損傷度：第7ステップ（274.6 kN），0.4 万回載荷時。
東名日本平軸重計データ（2005 年），松井式，水浸状態への換算係数 1/100 で換算。
 - 最終ステップ終了時：累積損傷度は，耐用年数 100 年相当の約 40 倍。
- 床版支間 3.0 m の連続版を想定し，供試体諸元を設定



【輪荷重走行疲労試験の概要】



【輪荷重走行疲労試験の載荷ステップ】

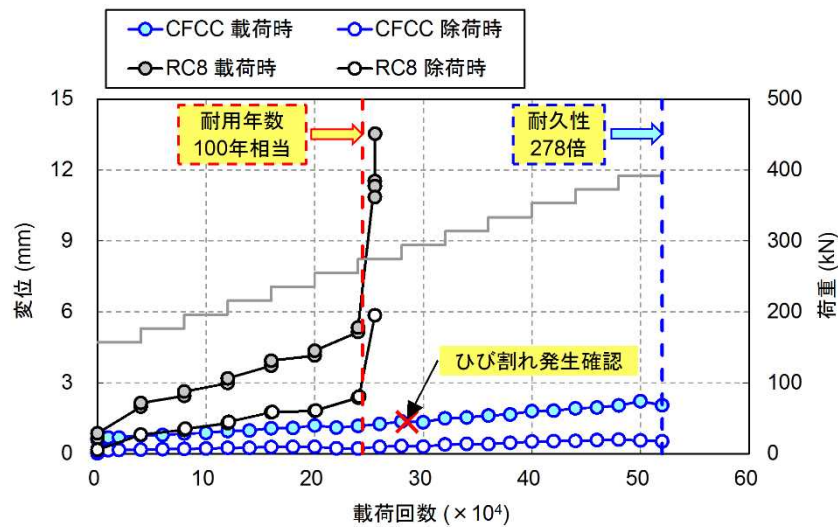
【材料強度】

	圧縮強度(N/mm ²)	
	設計強度	試験時*
コンクリート	60.0	68.7
無収縮モルタル	60.0	64.2

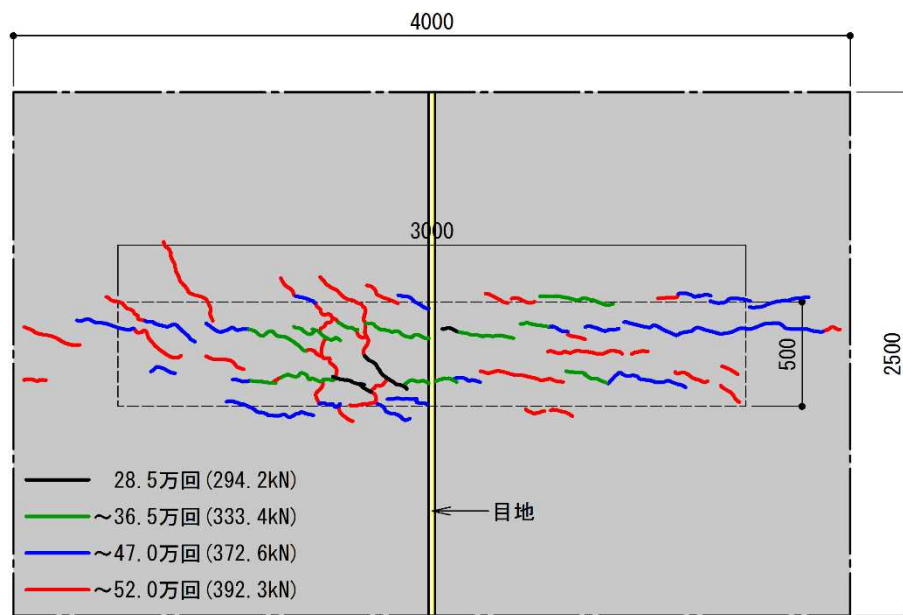
* 試験時強度：設計強度±10N/mm²以内

● 試験結果

- 耐用年数 100 年相当の耐久性を十分確保。
- ひび割れは、28.5 万回で確認。
- 床版中央の変位は荷重に比例して線形に増加しており、変位の増大は確認できない。
- ひび割れは、主に橋軸方向に発生。
- ひび割れ深さは最大で 100 mm 程度であり、貫通ひび割れは発生していない。
- 目地部の目開き量も、最大荷重時で 0.1 mm 程度（ π 型変位計値）。
- 最終载荷回数まで、変位の急激な増大は認められない。

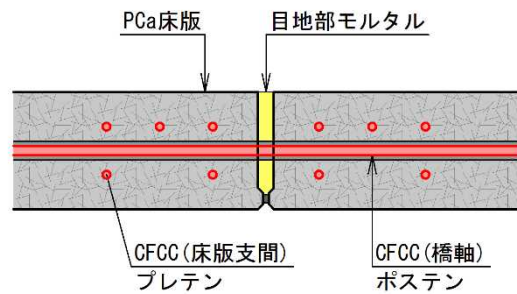
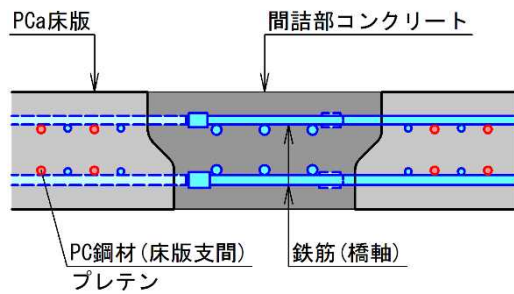


【载荷回数と床版中央の変位】

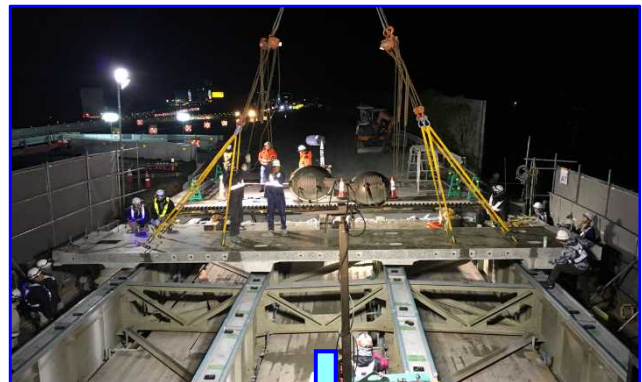


【床版下面のひび割れ状況】

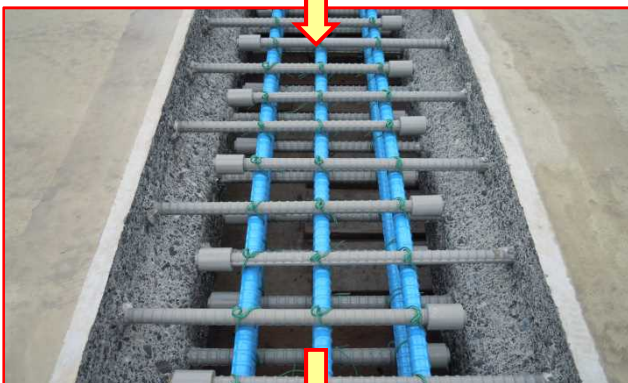
■ 施工順序イメージ



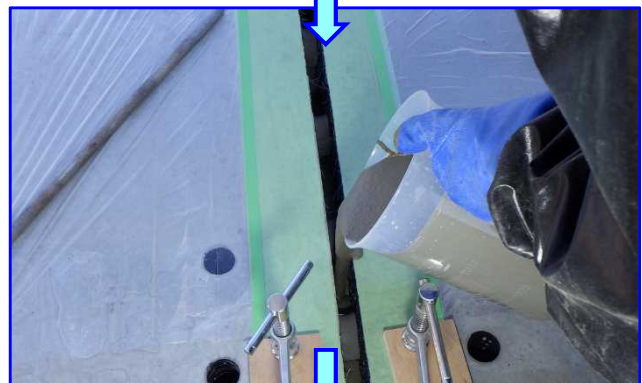
PCa 床版架設



PCa 床版架設



間詰部鉄筋・型枠組立て



目地部モルタル充填



間詰部コンクリート打設

【1方向 PC 床版】



橋軸方向ポステン緊張

【2方向 CFCC 床版】

※写真は2方向 PC 床版での施工例

■ 工費

- 試算条件：3 径間連続非合成鋼鈑橋（3@40.0m）×2 連，全幅 11.500m，有効幅員 10.610m
 - 床版工は，塩害対策 S 地区に対する 1 方向 PC 床版に比べて 40～50%増。
 - 床版更新工事の全体工費は，塩害対策 S 地区に対する 1 方向 PC 床版に比べて 10～30%増。

【工事費の比較例】

	1方向PC床版		2方向CFCC床版		
	(1) 一般 ^{※1} (千円/有効m ²)	(2) 塩害対策S ^{※2} (千円/有効m ²)	価格 (千円/有効m ²)	対(1)比	対(2)比
① PCa床版製作費	75.4	89.0	106.1	(1.41)	(1.19)
② PCa床版運搬費	7.5	7.5	7.5	—	—
③ PCa床版架設費	11.5	11.5	11.5	—	—
④ 間詰工費	5.5	6.3	—	—	—
⑤ 橋軸方向接合工費(ボステン緊張等)	—	—	39.2	—	—
PCa床版製作・運搬費計 ①+②	82.9	96.5	113.6	(1.37)	(1.18)
床版工費計 ①～⑤	99.9	114.3	164.3	(1.64)	(1.44)
床版更新工事価格 ^{※3} (300～500千円/有効m ²)	300.0	319.0 ^{※4}	388.1	(1.29)	(1.22)
	500.0	518.5 ^{※4}	585.8	(1.17)	(1.13)

※1：床版厚220mm，かぶり40mm，非塗装鋼材(鉄筋，PC鋼材)使用。

※2：床版厚250mm，かぶり70mm，塗装鋼材(鉄筋，PC鋼材)使用。

※3：(1) 一般に対する床版更新工事費を300～500千円/有効m²と想定。共通仮設費，現場管理費，一般管理費含む。

※4：床版厚増による鋼桁，支承，下部構造の補強費増等は未考慮。

■ 床版部の取替え工程

- 3 径間連続非合成鋼鈑橋（3@40.0m）×2 連
 - クレーン 2 台使用し，中央から両橋台側へ取替え。
 - 一般的な 1 方向 PC 床版に比べて約 15%の工程短縮。

【所要工程の比較例】

		所要工程(日)				
		5	10	15	20	25
1方向PC床版	既設床版撤去	■	■	■		
	PCa床版架設	■	■	■		
	間詰部施工	■	■	■	■	■
2方向CFCC床版	既設床版撤去	■	■	■		
	PCa床版架設	■	■	■		
	接合工		■	■	■	

Co：間詰コンクリート打設

※間詰コンクリートの養生期間，CFCCボステン用グラウトの養生期間を除く。

PT：橋軸方向CFCC緊張

CFCC スラブ 共同研究開発グループ



東京製網インターナショナル株式会社

〒103-8306 東京都中央区日本橋 3-6-2 日本橋フロント

CFCC 土木建築事業部

Tel. 03-6366-7731 Fax. 03-3278-6800



オリエンタル白石株式会社

〒135-0061 東京都江東区豊洲 5-6-52

本社 営業本部事業開発部

Tel. 03-6220-8061 Fax. 03-6220-0634

2021.08