

敦賀港蓬萊・桜地区耐震強化岸壁の設計・施工 — プレキャスト PC 構造栈橋式岸壁 —

辻 正寛*1・青山 哲也*2・宮本 克*3・西村 文夫*4

1. はじめに

敦賀港は、日本海における天然の良港で、古くから日本とアジア大陸を結ぶ中継地として、また北前貿易の中継基地として栄えてきた。こうした歴史から明治32年開港、同35年ロシアのウラジオストックとの間に定期航路が開設、同40年には、横浜・神戸・関門の各港とともに第1種重要港湾に指定された。その後第1次世界大戦、満州事変などにより、敦賀港はますますその重要性を高め、軍事・経済・文化交流の拠点となり、東京直通国際列車の運転など、本港の黄金時代を築くに至った。

戦後は国際情勢の急変により、対岸諸国との交易は一時途絶したが、昭和26年重要港湾に指定、同30年に北海道間に定期航路の開設、同45年北海道小樽間に定期カーフェリーの就航、平成2年韓国釜山間に定期コンテナ船の就航、同14年北海道苫小牧間に定期RORO船（ロールオンロールオフ船）の就航など、敦賀港は近畿中京圏を背後に控え、日本海地域の発展および対岸貿易の進展に対応する流通港湾として、さらに重要な役割を担うことが要請されている。

このような情勢に対処するため近年、鞠山地区（新港地区）に貨物のコンテナ化や船舶の大型化に対応した公共ふ頭の整備を進める一方、本港地区では再開発として港湾緑地を整備し、さらに両地区を結ぶ臨港トンネルも開通した。

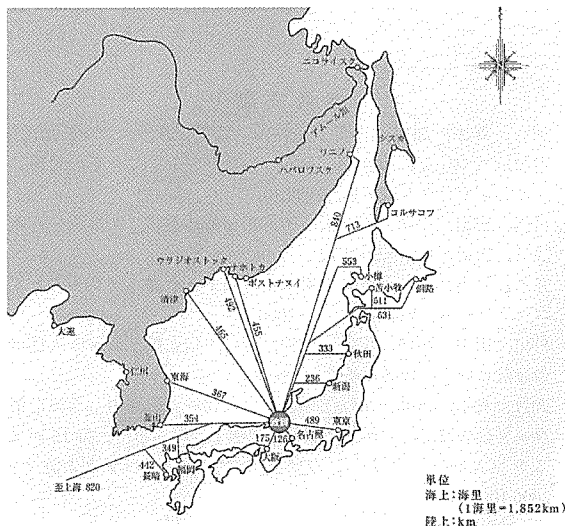


図-1 敦賀港の位置

2. 耐震強化岸壁

敦賀港耐震強化岸壁は、阪神・淡路大震災発生直後の平成8年、港湾計画一部改訂時に計画された。市街地に面する蓬萊・桜地区（本港地区）の桜E岸壁を耐震強化改良するものとして、平成16年より事業に着手している。

現地の地質は沖積層が厚く分布し、土質は砂質土と粘性土の互層状を示している。支持地盤はDL-23.0m付近であった。

当耐震強化岸壁は、既存の施設を撤去した後、同位置にて横栈橋式の岸壁を築造することとした。計画概要は以下のとおりである。

工事名：港湾改修（防災安全対策）工事

施設名：敦賀港蓬萊・桜地区桜E岸壁

計画水深：DL-5.5m

計画延長：L-120.0m

（耐震強化岸壁100.0m+取付部20.0m）

構造形式：横栈橋式

エプロン幅：15m

対象船舶：2000DWT（DWT：荷重重量トン）

工事概要：鋼管杭φ900mm 72本

捨石工（50～200kg）120m

上部工 120m

舗装工 1697m²

なお、栈橋背後の土留護岸については、既存のケーソンを利用することとしコストの削減を図った。

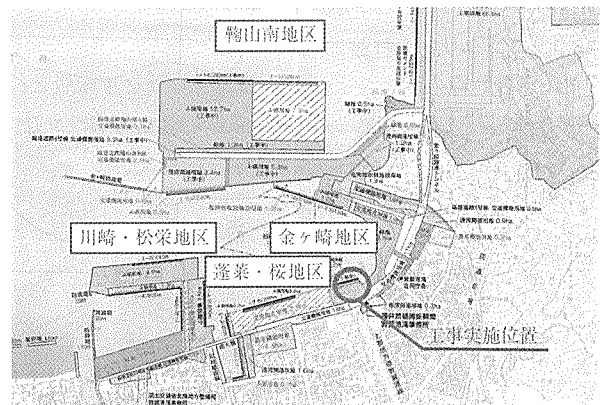


図-2 敦賀港平面図

*1 Masahiro TSUI：福井県 嶺南振興局 敦賀港湾事務所 所長

*2 Tetsuya AOYAMA：福井県 嶺南振興局 敦賀港湾事務所 主査

*3 Katsu MIYAMOTO：(株)日本ピーエス 土木設計部

*4 Fumio NISHIMURA：(株)日本ピーエス 土木設計部

3. プレキャスト PC 構造の採用

当初この耐震強化岸壁は、従来から一般的に採用されている場所打ち鉄筋コンクリート (RC) 構造による栈橋形式で計画していた。しかしながら、満潮時の水面高さ +0.50m に対して RC 梁下面高さが +0.30 m と海面より低く、そのため海水の影響が懸念された。これらを改善し、施工性および耐久性を向上させるためプレキャストプレストレストコンクリート (PC) 構造による栈橋形式を検討し変更採用した。

変更によって得られるメリットは下記のとおりである。

- 1) 梁のプレキャスト化により、現地における型枠の組立て・解体が不要となる。
- 2) 梁のプレキャスト化により、現地におけるコンクリート打設が不要となる。
- 3) 海水の影響が無く、設備も整った場所で確実に管理し製作できるため、品質に優れる。
- 4) PC 構造として設計し、ひび割れを許容しないため、鉄筋の腐食など耐久性に優れる。

4. 耐震強化岸壁の構造と施工順序

4.1 耐震強化岸壁 (栈橋) の構造

耐震強化岸壁の構造概要を以下に示す。

計画水深: DL - 5.50 m

栈橋天端高: DL + 1.90 m

杭の配置: 法線平行方向 4 列 (5 m 間隔)

法線直角方向 3 列 (5 m 間隔)

設計満潮位: HWL DL + 0.50 m

設計干潮位: LWL DL ± 0.00 m

本栈橋は、垂直に打ち込まれた鋼管杭上に配置された法線直角方向プレキャスト PC 梁 (主梁) とその間の法線平行方向プレキャスト梁 (横梁) で構成された格子梁の上に場所打ちコンクリート床版を有する合成梁構造である。ま

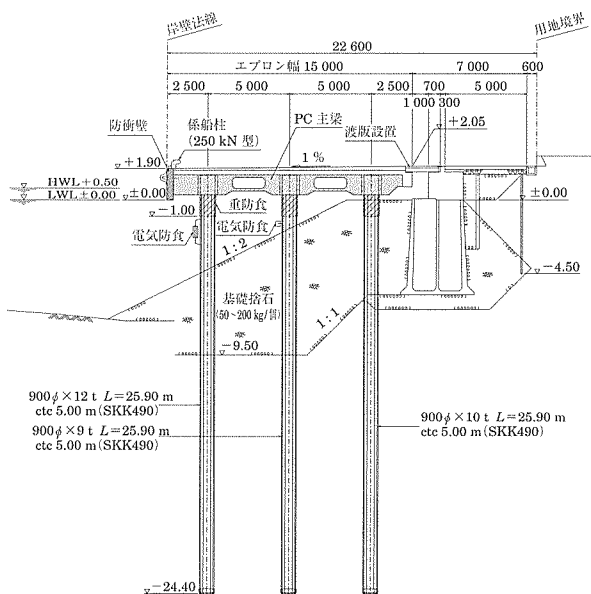


図 - 3 標準断面図

た、床版自体もプレキャスト PC 板を埋設型枠として使用した合成床版である。

標準断面図を図 - 3 に平面図を図 - 4 に示す。ただし、平面図は全延長のうち 20 m (1 ブロック) 分である。

なお、プレキャストの主梁と横梁の目地部は繊維 (ポリプロピレン) 補強膨張コンクリートによる無筋目地とした。

4.2 施工順序

本栈橋の施工概要を以下に示す。また、施工順序を図 - 5 に示す。

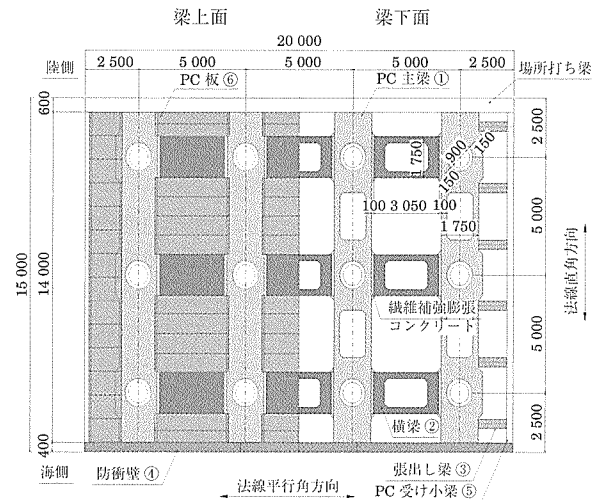
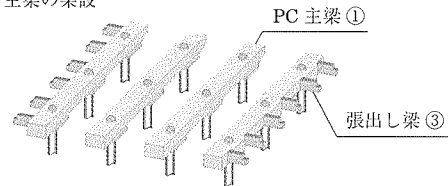
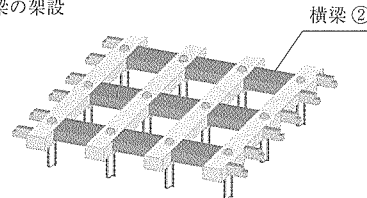


図 - 4 上部工詳細平面図

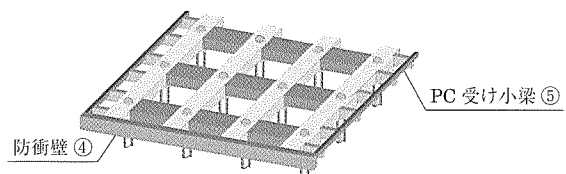
1. PC 主梁の架設



2. 横梁の架設



3. 防衛壁・受け小梁の架設



4. PC 板の敷設

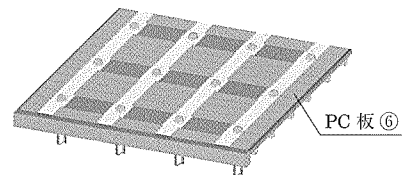


図 - 5 施工順序

- 1) PC 主梁 ① を鋼管杭上に 4 本架設する。
 なお、張出し梁 ③ は、あらかじめ主梁の架設前に PC 鋼棒でプレストレスを与え主梁と結合する。
- 2) 主梁間に横梁 ② を 9 本架設し、プレストレスを与え格子状の梁を構成する。
 鋼管杭と主梁の間詰、主梁と横梁の継目部には、繊維補強膨張コンクリートを打設する。
- 3) 防衝壁 ④ および PC 受け小梁 ⑤ を設置する。
- 4) 主梁間および主梁と受け小梁間に PC 板 ⑥ を敷設し、床版コンクリートを打設して合成床版構造とする。

5. プレキャスト PC 構造の採用で想定された懸念事項とその検証

RC 構造をプレキャスト PC 構造に変更するにあたって懸念されたことは下記の 2 点であった。

- 1) 主梁と横梁の無筋目地の地震時安全性
 使用状態においては、継目部は引張応力度が生じないようフルプレストレスで設計することで安全性を確保している。一方、地震時においては杭反力の影響から目地部近傍にも引張応力度が生じるが、無筋目地で軸方向鉄筋が連続して配置されていないためその安全性が懸念された。
- 2) 杭の拘束によるプレストレス導入量の不足
 横梁のプレストレス導入は、架設後に実施するので杭の拘束を受ける。設計計算では杭の拘束を水平ばねに置き換えてモデル化しているが、実際の拘束が想定より大きい場合は、所定のプレストレスが導入されない懸念があった。

5.1 無筋目地の地震時安全性の検証

横梁 1 本を取り出し、ソリッド要素による立体 FEM 解

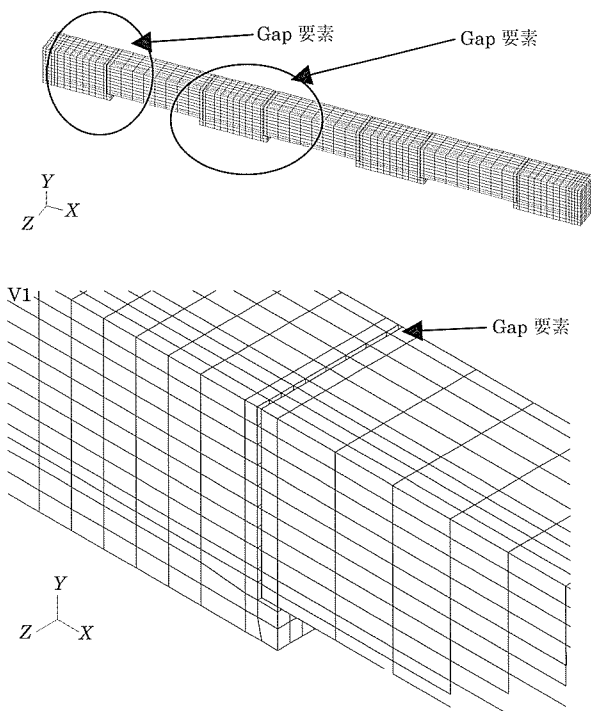


図 - 6 解析モデル

析 (1/2 モデル) で検証した。

(1) 解析モデルと荷重

検証方法は、目地部が無い構造 (一体構造) と、目地部を有する構造 (分割構造) の地震時の挙動を比較することにより行った。

一体構造は完全弾性体としてモデル化し、分割構造のプレキャスト目地部は引張りに抵抗しない部材 (Gap 要素) としてモデル化し、非線形解析とした (図 - 6)。

荷重はプレストレスと地震時杭頭モーメント荷重を載荷した (図 - 7)。モーメント荷重は安全性の観点から杭頭の保有曲げ耐力に相当する荷重とした。

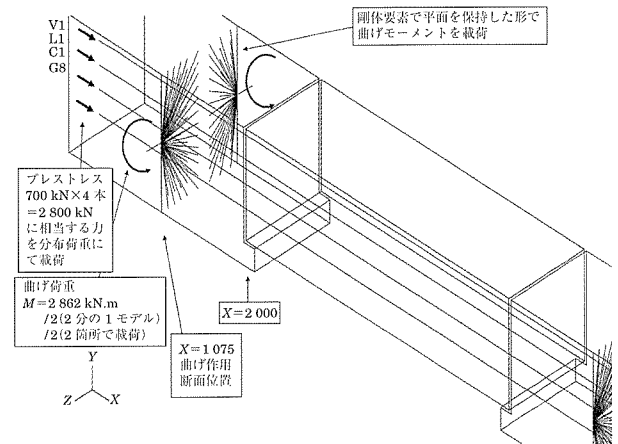


図 - 7 載荷荷重

(2) 解析結果

図 - 8、図 - 9 に解析結果の一例を示す。一体構造では、目地 1 上縁および目地 6 下縁に引張応力度が発生した。分割構造の目地部は引張りを負担しないため目地自体には当然引張りは発生せず、その目地近傍の引張応力度も一体構造に比べ小さい。その分、反対縁の圧縮応力度およびその範囲は一体構造に比べ大きくなっている。また、引張りが生じていない他の部分は、一体構造、分割構造ともにほぼ同様の応力状態を示した。

目地 1 下縁および目地 6 上縁の圧縮応力に着目し、一体構造および分割構造の最大応力度を比較した結果を表 - 1 に示す。

表 - 1 目地部の最大応力度

	最大応力度 (N/mm ²)		比率
	一体構造 弾性解析	分割構造 非線形解析	
目地 1	9.94	14.35	144.4 %
目地 6	8.21	10.90	132.8 %

分割構造の最大圧縮応力度は一体構造に比べ、40 %程度大きい。しかしながら、最大で 14.35 N/mm² でありコンクリート設計基準強度 40 N/mm² の 1/3 程度であることから地震時の安全性は十分確保できている。

また、発生応力度より曲げモーメントとせん断力を算出し、一体構造および分割構造を比較した結果を表 - 2 に示す。

表 - 2 断面力

	曲げモーメント (kN・m)			せん断力 (kN)		
	一体構造		比	一体構造		比
	線形	非線形		線形	非線形	
支点 1	- 2 270	- 2 269	100.0 %	966	984	101.9 %
目地 1	- 1 486	- 1 472	99.1 %	956	983	102.8 %
目地 2	1 550	1 544	99.6 %	965	988	102.4 %
支点 3	2 328	2 422	104.0 %	966	988	102.3 %
支点 5	- 1 345	- 1 390	103.3 %	966	973	100.7 %
目地 5	- 570	- 604	106.0 %	951	971	102.1 %
目地 6	2 442	2 432	99.6 %	965	971	100.6 %
支点 7	3 216	3 215	100.0 %	966	970	100.4 %

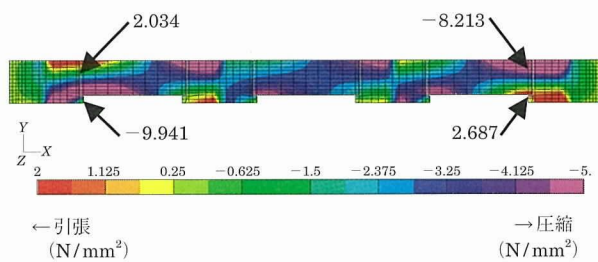


図 - 8 一体構造 (弾性解析)

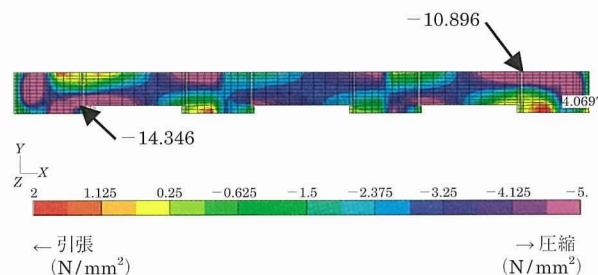


図 - 9 分割構造 (非線形解析)

主応力は若干異なるが、断面力を比較した場合、曲げモーメントで最大 1 % 程度、せん断力で最大 3 % 程度で差はほとんどない。無筋目地に伴うモーメントの再分配もみられなかった。

5.2 杭の拘束に対するプレストレス導入の検証

現地での PC 鋼材緊張に伴うひずみ測定により検証した。

(1) 測定方法

測定箇所は A ラインおよび B ラインの横梁 2 本で、それぞれ目地位置とした。図 - 10 にひずみゲージの位置を示す。また、測定回数は図 - 11 に示すとおり横梁の緊張が一段づつ終了するステップ 1 からステップ 4 の 4 回とした。

(2) 測定結果

測定された PC 鋼材緊張によるひずみとコンクリートのヤング係数から応力度を算出した。応力度算出に使用したコンクリートのヤング係数は、目地部コンクリートと同様

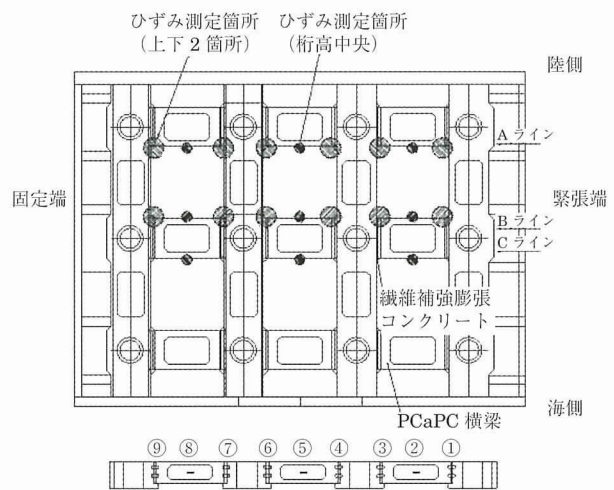


図 - 10 ひずみ測定箇所

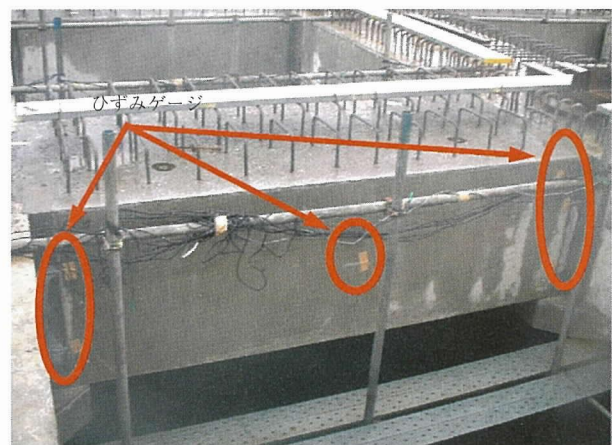


写真 - 1 ひずみゲージ取付け状況



図 - 11 ひずみ測定ステップ

に養生された同材齢供試体のヤング係数を使用した。

A ラインの応力度グラフと設計値を図 - 12 に示す。目地部は中空部がないので設計では充実断面として計算しているが参考のため中空断面としての応力度も示した。

すべての測定箇所ではプレストレスは設計値を上回った。杭の拘束は、設計時の設定値よりも若干小さく、十分にプレストレスが導入されたことが確認できた。

定着部に近い測定箇所は充実断面としての計算値側に、その他は中空断面としての計算値側に近い傾向を示した。これは、断面変化の影響とプレストレス導入方向に起因しているものと推定される。

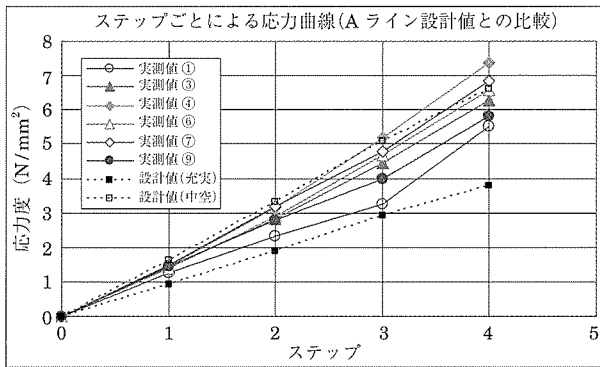


図 - 12 ステップごとによる応力曲線

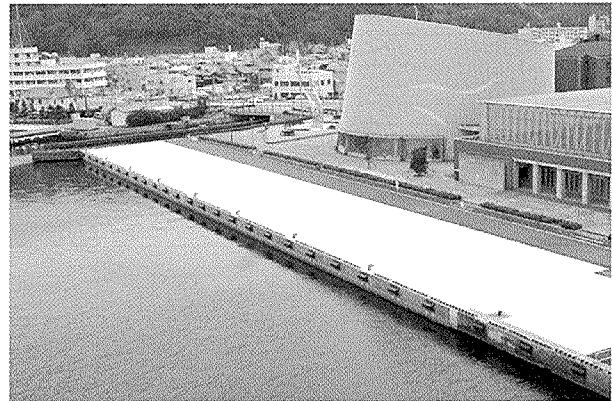


写真 - 3 完成状況

6. おわりに

当初計画の場所打ち RC 構造を施工性および耐久性の向上目的でプレキャスト PC 構造に変更して施工し、本耐震強化岸壁は、平成 19 年 3 月に無事竣工した。施工途中状況を写真 - 2 に、完成状況を写真 - 3 に示す。

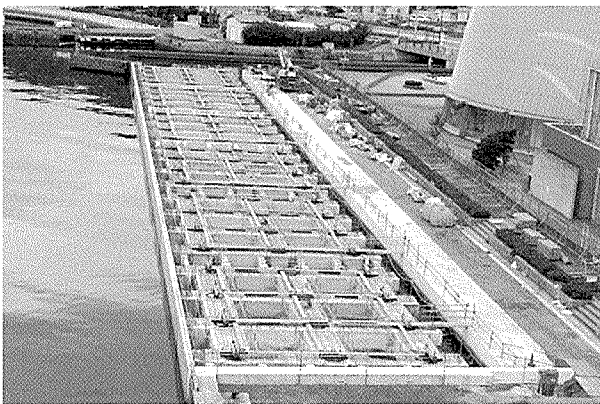


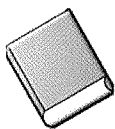
写真 - 2 施工途中状況

施工性および耐久性向上を目的としての構造変更であったが、本構造は工程短縮と環境への配慮にも大きく貢献できたと考えている。本報告が同種工事の参考になれば幸いである。

最後に本工事の変更設計および施工にあたってご助言・ご指導いただいた港湾空港技術研究所の構造強度研究室長横田様、日本港湾コンサルタント笹部様をはじめ関係各位に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 森山陽一, 松田耕一, 太田博史, 加藤正和: 弥富高架橋の設計・施工 プレストレストコンクリート Vol.41 No.2, Mar. 1999 pp.71-76
- 2) 芳賀勇治, 前田敏, 佐野清史, 清宮理: 差込み方式による鋼管杭とプレキャスト部材の接合部構造性能確認実験 コンクリート工学年次論文報告集 Vol.21 No.3, 1999 pp.1081-1086
【2007 年 4 月 17 日受付】



新刊図書案内

PC技術規準シリーズ

外ケーブル構造・プレキャストセグメント工法 設計施工規準

頒布価格：会員特価 4,000 円（送料 500 円）

：非会員価格 4,725 円（送料 500 円）

社団法人 プレストレストコンクリート技術協会 編
技報堂出版