

(78) 首都高速湾岸線における外ケーブル方式PC橋の設計・施工

首都高速道路公団 神奈川建設局 正会員 伊 東 昇
 (株) ビー・エス 東京支店 正会員 市 川 徹
 (株) ビー・エス 東京支店 正会員 ○佐藤 幸一
 オリエンタル建設(株) 東京支店 正会員 星 野 進一

1. はじめに

外ケーブル方式はPC鋼材を部材の外に配置するもので、①ウェブ厚の低減、②シース配置作業の軽減、③コンクリート打設性の向上、④外ケーブルの追加・交換が可能、⑤目視による点検が可能などの利点がある。こうした利点から近年欧米で数多く適応されているが、我が国では設計、施工に関する適切な基準がなく、主に既設橋の補強に使用されている手法で、新設橋での使用例は、鉄道橋を含めても数例と少ない状況である。しかし、近年の熟練工の不足といった労務事情から、プレキャスト化の進展と共に、省力化・工期短縮・品質の向上を図る工法として大いに注目されている。

2. 橋梁概要

このようななかで、首都高速道路公団では高速湾岸線の横浜市鶴見区扇島内に外ケーブル方式によるPC 3径間連続箱桁橋、BY433工区(その3)・BK441工区(その1)高架橋を計画した。本橋の技術的特色は、①外ケーブルの追加・交換が可能である、②外ケーブルにエポキシ樹脂被膜鋼材を使用している、③中間横桁を外ケーブルの定着部にして、④偏向部でのケーブル曲げ半径を $R=3.5\text{m}$ と小さくしている、などである。ここでは、本橋のこれら外ケーブルに関する設計、施工の概要を述べる。構造図を図-1に、設計条件、主要材料を表-1、2に示す。

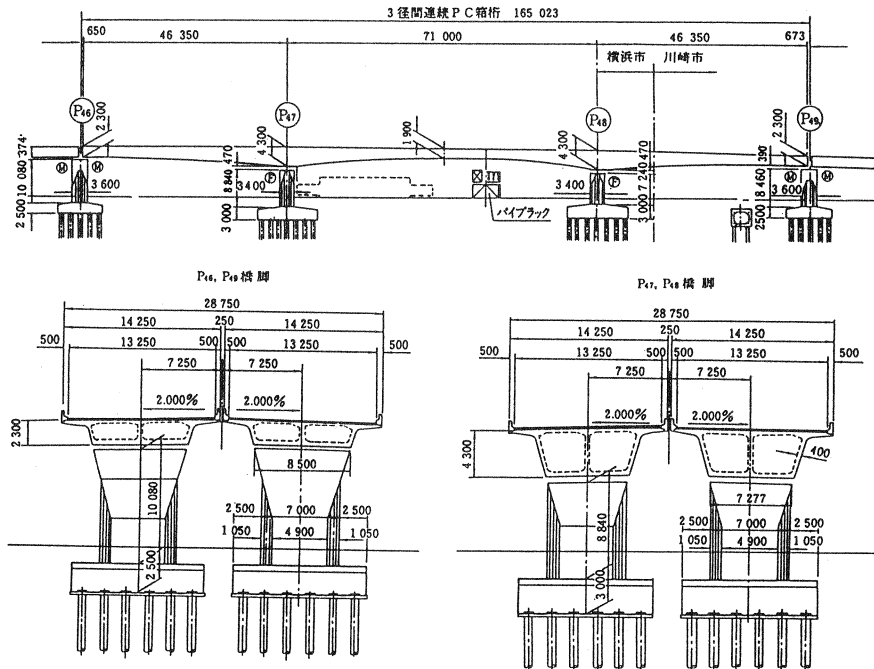


図-1 構造一般図

表-1 主要設計条件

工事箇所:	神奈川県横浜市鶴見区扇島
工期:	平成3年10月18日~平成6年6月3日
道路規格:	第2種第1級(6車線)
活荷重:	TL-20, TT-43
橋種:	外ケーブル方式プレストレストコンクリート連続橋
構造形式:	3径間連続2室箱桁
橋長:	165.023 m
桁長:	164.823 m
支間:	46.350m+71.000m+46.350m
有効幅員:	13.250m×2(上・下線)
平面線形:	R=140000m~∞
斜角:	90°00'00"
縦断勾配:	i=0.3~3.0%
横断勾配:	2.0%片勾配

表-2 主要材料(片1ライン当り)

項目	種別	単位	数量	摘要
コンクリート	$\sigma_{ck} = 400 \text{ kgf/cm}^2$	m^3	1.911	主桁
	$\sigma_{ck} = 300 \text{ kgf/cm}^2$	m^3	99	地覆高欄
鉄筋	SD345	kg	267.141	主桁
	SD345	kg	20.350	地覆高欄
PC鋼材	S B P R 930/1180 #32	t	42.972	架設ケーブル
	S W P R 7B12T 15.2	t	24.299	内ケーブル
	S W P R 7B12T 15.2	t	17.335	外ケーブル
	S W P R 1 12 #7	t	20.931	横締め
	S B P R 930/1180 #32	t	8.363	鉛直締め

注) 上り線外ケーブル: セメントグラウトタイプ

下り線外ケーブル: エポキシ樹脂被覆

3. 設計概要

3.1 外ケーブルの配置

外ケーブルの配置形状を図-2に示す。外ケーブルと内ケーブルの比率は、今後のプレキャスト化を見込み全鋼材を外ケーブルとする方法も考えられたが、終局曲げ耐力の確保および過去の実績から全死荷重時に許容値を満足できる量の内ケーブルとし、残りを外ケーブルとした。主要断面の内・外ケーブル本数と、終局時の曲げ破壊安全度を表-3、4に示す。

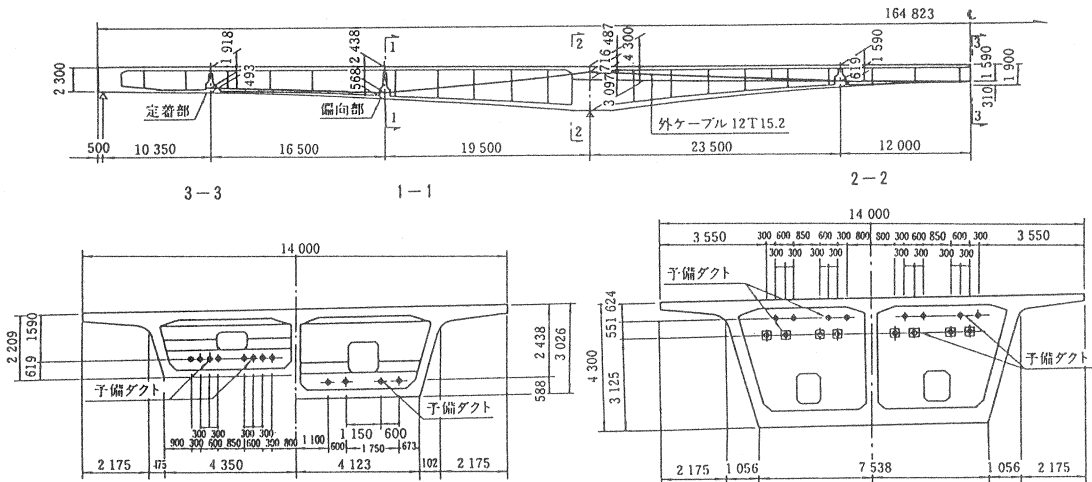


図-2 外ケーブル配置図

表-3 主ケーブル配置本数(本)

種別	断面	1-1	2-2	3-3	備考
		PC鋼棒 $\phi 32$	内ケーブル	0	
PC鋼より線 12T 15.2	内ケーブル	13	0	19	連続ケーブル
	外ケーブル	6	6	12	

表-4 曲げ破壊安全度

位置	算出方法	①付着あるケーブルの70%とした場合		
		②抵抗モーメントに加算	③荷重として扱う	
中間支点	終局モーメント (t/m)	-29,213.6	-29,213.6	27,541.6
	抵抗モーメント (t/m)	29,921.6	29,484.4	27,812.0
	安全率	1.02	1.01	1.01
スパン中央	終局モーメント (t/m)	8,310.8	8,310.8	6,536.1
	抵抗モーメント (t/m)	12,622.9	11,963.6	10,189.5
	安全率	1.52	1.44	1.56

外ケーブルの定着は、外ケーブルには大容量のケーブルが使用されるため、桁端や中間支点の剛性の大きな横桁で行われるのが一般的である。しかし、本橋では起終点側の橋梁が先行して施工されること、将来のケーブル追加・交換のためのスペースが必要なことから、桁端の定着位置を中間横桁の位置とした。

3. 2 定着部、偏向部の設計

定着部、偏向部は中間横桁を一部拡幅した構造とした。こうした主桁本体外の構造は、設計法が確立されておらず、定着部・偏向部の設計は以下の手順で行った。

- ① コーベルとしての検討
- ② 3次元FEM解析による検討
- ③ 定着部の1/2縮尺模型による載荷試験

この結果、解析値と実験値はほぼ一致し、また終局荷重はケーブル破断荷重の1.9倍であり、本橋の定着部の補強方法の妥当性と、十分な耐力を有することを確認できた。載荷試験供試体を図-3に示す。ただし、破壊形態が定着部の回転と下床版の押し抜きによる破壊であったことから、最終的には上床版と分離していた定着部上部を上床版と接続する形状に変更した。

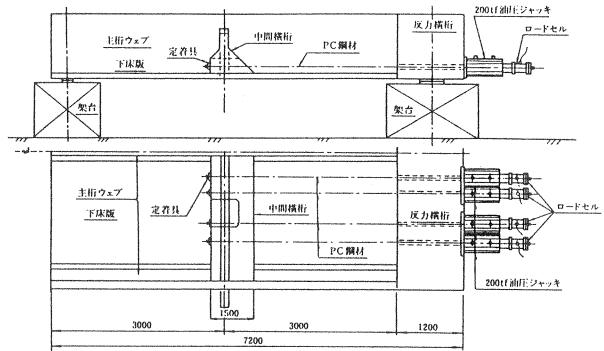


図-3 載荷試験供試体

3. 3 偏向部ケーブルの曲げ疲労の検討

偏向部では、構造的にケーブルの曲げ半径を大きくとれず、本橋では $R = 3.5$ mとしている。国内基準では、最小曲げ半径は「シース径の100倍」と規定されており、本橋のケーブルでは $R_{min} = 8.0$ mとなる。そこで偏向部におけるケーブルの微小振動などによる影響を考慮して、偏向部ケーブルの疲労試験を実施した。ケーブルの下限引張応力度 $0.6\sigma_{pu}$ (設計時許容引張応力度)、振幅 10 kg/mm^2 、繰り返し回数200万回の結果、ケーブル破断などの異常はなく、問題のないことが確認できた。疲労試験装置を図-4に、供試体を図-5に示す。

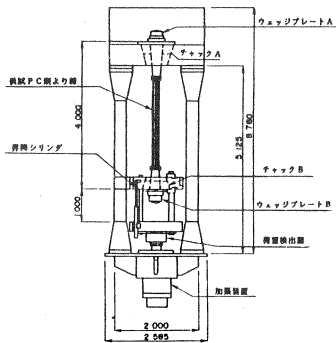


図-4 疲労試験装置

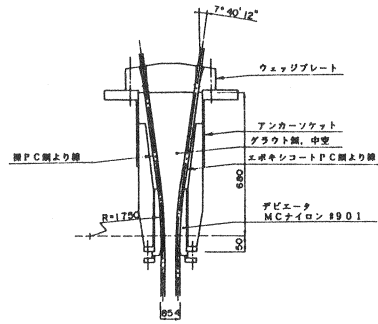


図-5 供試体

3. 2 外ケーブルの防食

外ケーブルの防食は、外とう管にセメントグラウトなどを充填する方法が一般的である。しかし、この方法では、外とう管が不透明なためケーブルを直接目視で点検できないという難点がある。そこで本橋では、上下分離構造であることから、上り線は一般的な外とう管を用いたセメントグラウト防食とし、下り線では試験的に外とう管の不要なノングラウトタイプのケーブルを使用することとした。これに、①将来ケーブルの追加・交換が可能であること、②配置スペースから1本当たり導入力は $P_i = 250\text{ t/本}$ (12T15.

2Bクラス)程度とすること、③防食の信頼性が高いこと、④定着具が入手可能であること、などを条件に各種のケーブルについて比較検討した。比較表を表-5に示す。この結果、ノングラウトタイプはエポキシ樹脂で被覆されたケーブルを採用した。これにより価格ではやや割高であるが、PC鋼材を直接目視できるという利点を有ることができた。

表-5 外ケーブル材比較表

防食タイプ	ノングラウトタイプ			グラウトタイプ	
	亜鉛メッキケーブル	アンボンドケーブル	エポキシ樹脂被覆	セメントグラウト	軟質系油脂
信頼性	長期の安定性に不安がある。定着部・偏向部では別途グラウト防食が必要。又メッキ時の熱処理により強度低下が生じる。	工場製品であり信頼性高い。但し定着部・偏向部では別途グラウト防食が必要。	同左 被覆性能はASTMで確認済み。	実績多く信頼性高い。但し直接目視による点検ができない。	熱膨張係数大きく高温注入後の温度低下による収縮隙間の不安がある。目視による点検はできない。
施工性	挿入時に被覆を傷めぬよう注意が必要。	同左。	同左。	特に問題なし。 外套管にPE管が使用できる。	特に問題なし。 高温注入のため外套管は鋼管。
追加・交換	定着部、偏向部を二重管構造にすることで可能。	同左。	同左。	同左。	二重管の必要はない。
定着体	外ケーブル用有り。但し、軟質油脂充填タイプ。	国内では内ケーブル用シングルタイプのみ。	外ケーブル用有り。	同左。	不明。
実績	不明。	海外数例、国内無し。	斜張橋斜材で海外数例、国内でも施工中あり。	実績多い。	不明。
料定	△	×	○	○	△

4. 施工概要

4.1 施工方法

本橋の架橋地点は、近接するNKK京浜製鉄所のパイプラックと道路が横断しており、これらの切り廻しが困難であった。このため施工方法はこれらに影響のない、片持ち張出し架設工法を採用した。外ケーブルの施工は主桁が完成し、内ケーブルを全て緊張した後に行った。図-6に外ケーブルの施工手順を示す。

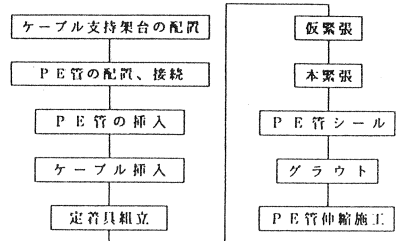


図-6 外ケーブル施工手順

4.2 定着部、偏向部の構造

本橋は将来の維持補修のために、外ケーブルの追加、交換を可能にしている。このため、定着部、偏向部を二重管構造とし、交換時に既設ケーブルの引き抜きを可能にしている。また追加のための予備のダクトも設けられている。定着部の構造を図-7に、偏向部の構造を写真-1に示す。定着具はウエッジプレートからリングナットを外すことにより、将来の交換時に張力の解放ができる構造となっている。また偏向部のダクトは鋼管を工場で曲げ加工し、所定の曲げ半径を確保するとともに、両端部をラップ状に加工し、施工時の誤差によるケーブル軸線のずれや、供用時のケーブルの微小振動による応力集中を緩和できる構造にした。

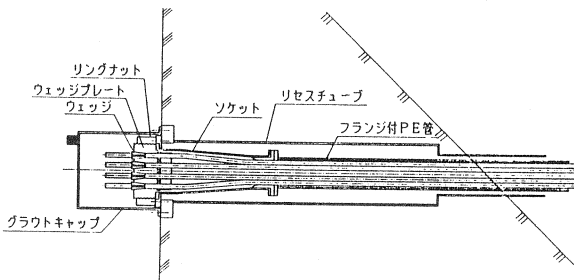


図-7 定着部

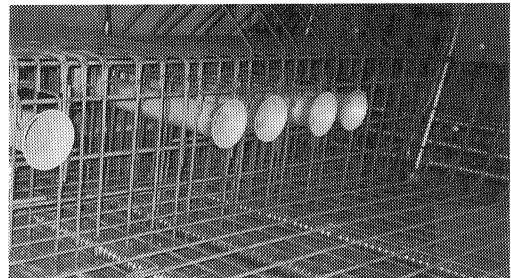


写真-1 偏向部

4. 3 外とう管の配置

セメントグラウトタイプの外とう管には施工性と経済性を考慮し高密度ポリエチレン管(PE管)を用いた。PE管はケーブル長(110m)分を1本物とすることもできたが、搬入がドラム巻きとなり巻き癖が残ることから、施工性を考慮し定尺物を継ぐこととした。接続方法は熱板による圧接継ぎ手を持ちいた。写真-2に圧接機を示す。

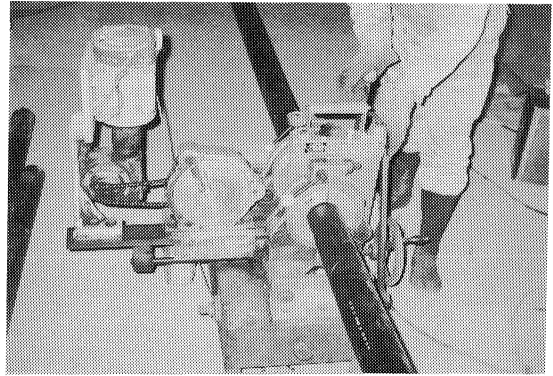


写真-2 PE管圧接機

4. 4 ケーブルの挿入

ケーブルの切断は、セメントグラウトタイプのケーブルは通常の裸鋼より線のため、現場で切断した。エポキシ樹脂被覆ケーブルは切断作業中に被覆に傷を付ける恐れがあるため、工場切断とした。さらに、ドラム巻き付けは、挿入時のより線間の接触による被覆の損傷を防ぐため、より線1本毎にセパレーターをいれて行った。ケーブルの挿入時には、定着部・偏向部の間にケーブル支持架台を設けて挿入を行った。セメントグラウトタイプではPE管を先に配置し、その後ケーブルの挿入を行った。ケーブルの挿入は、セメントグラウトタイプ、エポキシ樹脂被覆タイプ共にウインチで行った。挿入状況を写真-3、4に示す。

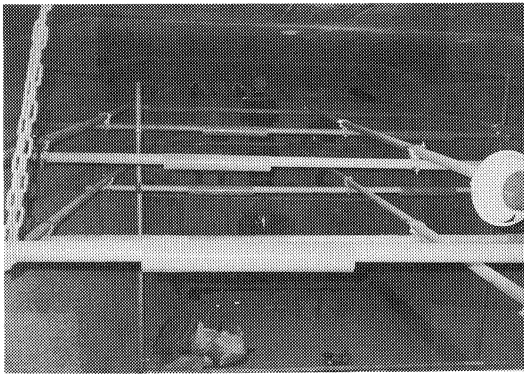


写真-3 ケーブル支持架台

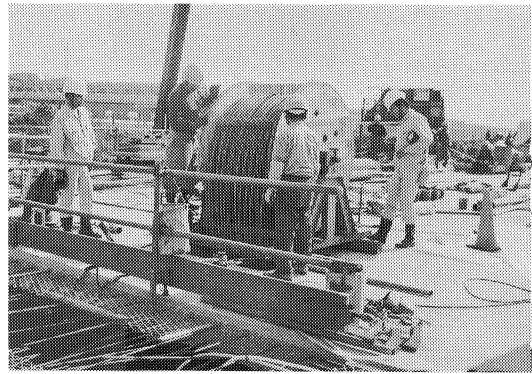


写真-4 ケーブル挿入

4. 5 緊張、グラウト

外ケーブルの緊張は、自由長部のケーブルのたるみをとるために、先ずベビージャッキでより線1本毎に仮緊張を行い、その後本緊張を行った。

PE管のグラウト注入は、注入孔にポリエチレン管用分岐サドルバンドを使用して行った。注入は、外ケーブルの形状が単純なため、非常にスムーズに行うことができた。写真-5に分岐サドルバンドを示す。

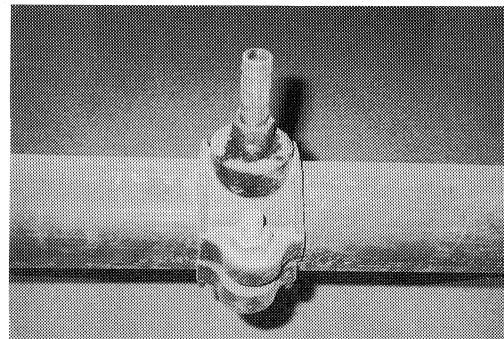


写真-5 分岐サドルバンド

5. おわりに

以上、本橋の外ケーブルに関する設計、施工の概要を述べた、本報告が今後の外ケーブル橋の設計、施工の一助となれば幸いである。

最後に、本橋は平成6年6月14日無事竣工した。本橋の設計、施工に際し御指導、御尽力をいただいた多くの方々に心より感謝の意を表します。

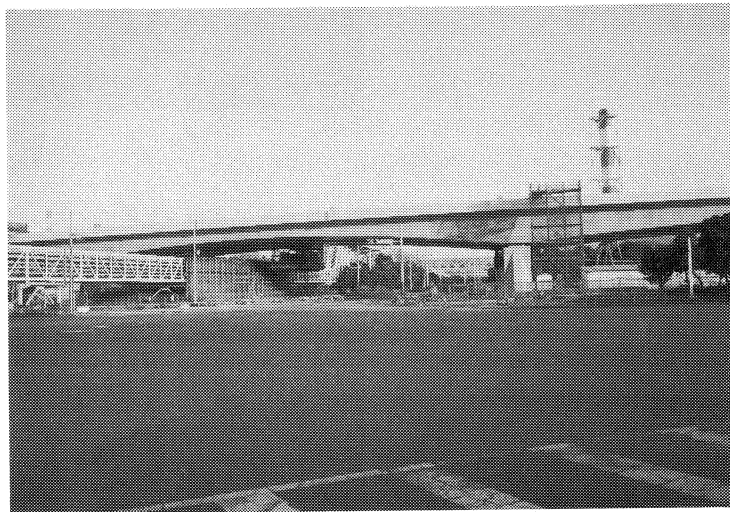


写真-6 完成写真

6. 参考文献

- 1) 伊東 昇:「外ケーブルを併用した3径間連続PC橋に関する検討」、プレストレストコンクリート技術協会 第3回シンポジウム論文集(1992)、pp.43~46
- 2) 伊東 昇:「首都高速湾岸線における外ケーブルPC橋に関する実験概要」、第20回日本道路会議一般部門論文集(1993)、pp.994~995
- 3) 一樹久允、伊東 昇、佐藤幸一、後藤精三:「外ケーブル方式PC構造物の現況(実施例)、1. 首都高速道路湾岸線における外ケーブル方式PC橋の設計・試験」、プレストレストコンクリート技術協会 第22回PC技術講習会テキスト(1994)、pp.77~90
- 4) D.C.Binnekamp: "Strength of Deflected Tendons", FIP Notes 1988/2, pp.3~5
- 5) 首都高速道路公団神奈川建設局: ケーブル曲げ上げ部疲労試験報告書(1993.3)