

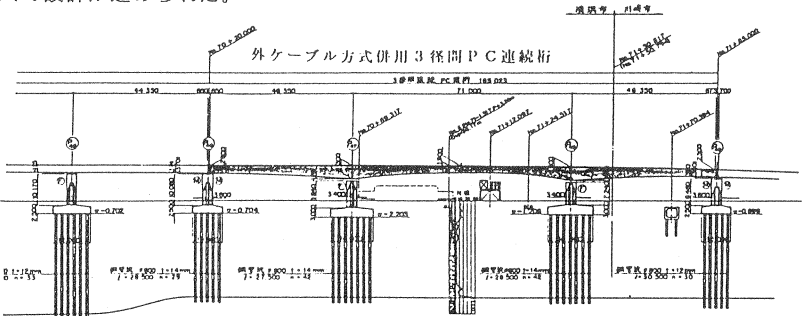
(10) 外ケーブルを併用した3径間連続PC橋に関する検討

首都高速道路公団 神奈川建設局 正会員 伊 東 昇

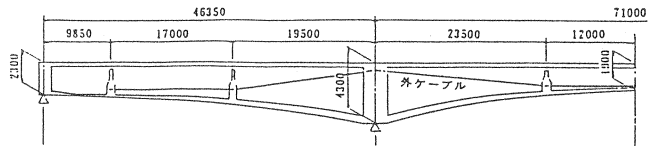
1. はじめに

首都高速湾岸線は東京湾環状道路の一環を構成する首都圏の根幹的道路の1つであり、現在急ピッチで工事が進められている。このうち、図1に示す横浜市鶴見区扇島にある中央径間71m、橋長165mの3径間連続PC桁は、外ケーブル併用方式で設計が進められた。

外ケーブル方式は、①ウェブ厚を薄くできる、②現場作業を軽減できる、③将来の維持管理がしやすい、などの利点のあることは知られているが、我が国では、適切な技術基準等が整備されていないため、新設橋梁から使用された例は少なく、もっぱら既設橋梁の補修、補強に採用されていたものである。ここでは、本橋を、外ケーブル併用方式で設計するにあたって、検討を要した項目についてその結果を報告する。



(a) 側面図



(b) 外ケーブル配置図

図1 橋梁一般図

2. 設計概要

設計条件は表1に示す通りである。架橋地点は、近接する工場のパイプラックと道路が横断しており、これらの切廻しが困難であったため、張り出し工法による架設を採用した。このため、施工性から張り出し用鋼材としてPC鋼棒を、閉合用鋼材としてPC鋼より線を使用しているが、このうちの一部を外ケーブルとしている。

外ケーブル配置にあたっての基本的な考え方としては、閉合用鋼材のうち全死荷重作用時に許容値を満足できる量を内ケーブルとし、残りを外ケーブルとした。この結果、中央径間では25本のうち12本が、側径間では19本中6本が外ケーブルとなった。これにより、ウェブ厚を薄くできるようになり、主桁の軽量化を図ることができた。

また、外ケーブルは桁端や中間支点上の隔壁で定着するのが通常であるが、本橋の起終点側の橋梁が先行して施工されることになっているため、端支点側の定着位置を中間横桁の位置とした。

なお、設計を進めるにあたっては、道路橋示方書および首都公団基準に基づいて行うこととしたが、表2に示す2点については、外国の基準類に記された値を参考とした。

さらに、上下線分離であることを利用して2種類の外ケーブルを使用することとした。すなわち、片側では、従来から用いられているPCより線をPE管の中に通し、セメントグラウトするものであるが、もう一

表1 設計条件

一般条件	
道路規格	第2種第1級(6車線)
活荷重	TL-20, TT-43
上部構造	
構造形式	3径間連続PC箱桁
橋長	165.023m
支間	46.35m+71.00m+46.35m
幅員	全幅 14.25m
架設工法	張り出し架設

方では、エポキシ樹脂をコーティングしたノングラウトタイプのケーブルを採用している。これらは、将来の取り替えを可能とするために二重管式の定着具で定着することとした。このため、ケーブルや

表2 道路橋示方書との相違点

項目	道路橋示方書	BY433(3)、BK441(1)	備考
摩擦係数	$\mu = 0.3$ $\lambda = 0.004$	自由長部 $\mu = 0$ $\lambda = 0$ 定着部 $\mu = 0.3$ $\lambda = 0.004$ 偏向部 $\mu = 0.3$ $\lambda = 0.004$	PC鋼より線 12T15.2(B)
最小曲げ半径	スラを用いる場合 : スラ径 $\times 100$ $R_{min} = 80 \times 100 = 8.0m$ スラを用いない場合 : PC鋼材径 $\times 40$ $R_{min} = 15.2 \times 40 = 0.65m$	$R_{min} = 3.5m$ 参考基準 SETRA (77スラ) $R_{min} = 2.5m$ AASHTO (7799) $R_{min} = 3.042m$	フレシネー基準 : $R_{min} = 8.0m$ ディビダーク基準 : $R_{min} = 7.5m$

定着具の基礎的な特性についても確認を行った。

設計上の課題としては、以上の点の他、① 定着部、偏向部における応力集中、② 終局耐力時の外ケーブルの評価、③ 外ケーブルの振動、があり、これらについての検討結果を紹介するものである。

3. 定着部および偏向部の解析

定着部および偏向部は、横桁を部分的に拡幅して利用することとし、設計上は定着部をコーベルとして検討し、補強筋を配置している。しかしながら、比較的大容量のケーブルを一度に定着するため、局所的な応力集中が生じることも予想される。ここでは、定着部付近および偏向部付近のFEM解析を行って、応力集中、応力分散および適切な補強法について検討した。

定着部については、図2に示すような横桁を含む3次元モデルを用いて解析した。結果の一部は図3に示すが、これらから以下のようなことが考察される。

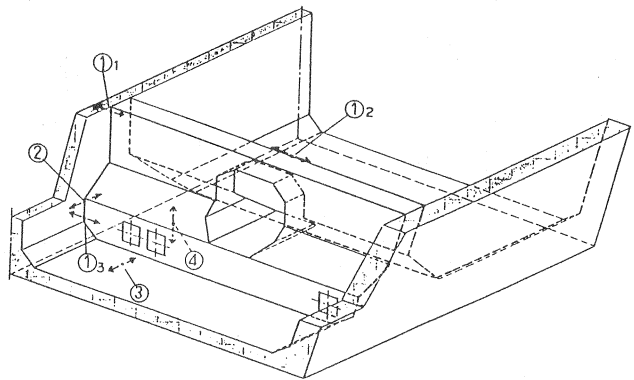


図2 定着部解析モデル概念図

- ①定着部のプレストレスが横桁から底版およびウェブへ伝達される際に定着部前面の下床版及び横桁取り付け部より前面側のウェブに橋軸方向の引張応力が発生する。
- ②横桁定着側ウェブ取り付け部および背面側の広範囲には、橋軸直角方向の引張応力が発生する。
- ③定着部の背面には割裂による鉛直方向の引張応力が発生する。
- ④その他の部分にも引張応力の発生が見られるが、値が小さく問題とはならない。

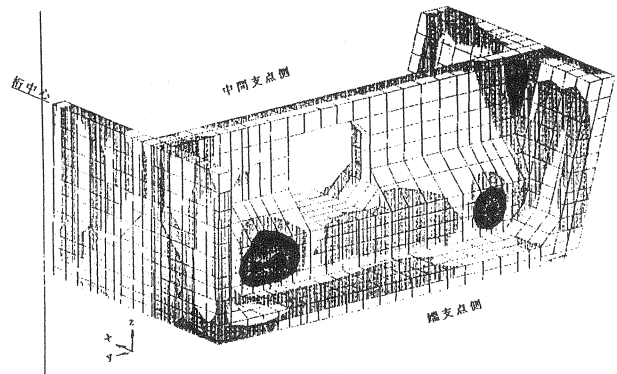


図3 FEM解析結果の一例

以上の①～③については、鉄筋を追加する、もしくはランクを上げることによる補強により対応が可能と考えられる。

偏向部には中間支点上の横桁と中央径間側にあるが、横桁幅が小さく、ケーブルの角変化の影響がより大きいと考えられる中央径間の偏向部に着目し、図4に示すようなモデルにより解析を実施した。得られた結

果は、以下のようである。

①ケーブルの角変化によるプレストレスの鉛直方向の分力が作用するため、あたかも横桁がウェブで支持されたはりのような挙動を示し、横桁の上方に橋軸直角方向の引張応力が発生する。

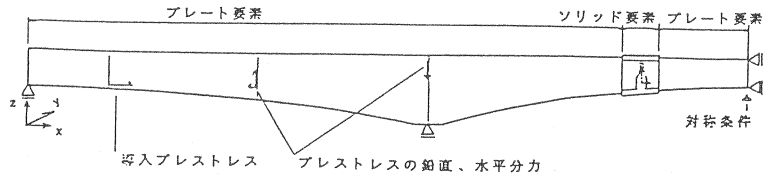


図4 偏向部解析モデル

②偏向部の表面付近に鉛直方向の引張応力が発生する。

これらについても、わずかな鉄筋の増加で対応が可能であった。

4. 終局曲げ耐力算出における外ケーブルの評価法

外ケーブルは、コンクリートとの付着がなく、ひずみが固定点間でほぼ一定となるため、断面内での平面保持が成立しない。このため、終局時において外ケーブルの降伏まで見込むことはできず、終局耐力算定にあたって外ケーブルの評価方法が、問題となる。

道路橋示方書には、PC鋼材とコンクリートの付着がない場合は、付着がある場合の70%と規定されており、これを外ケーブルに準用すると、以下のようになる。

終局荷重時の荷重組合せ

$$M_U = \alpha M_D + \beta M_L + M_{PX}$$

ここで、 α 、 β ：荷重係数

M_D ：死荷重による曲げモーメント

M_L ：活荷重による曲げモーメント

M_{PX} ：プレストレスによる不静定曲げモーメント

破壊抵抗曲げモーメント算定時のPC鋼材の引張力は以下のようになる。

$$T_P = A_{PI} \cdot \epsilon_{PI} \cdot E_P + 0.7 \cdot A_{PO} \cdot \epsilon_{PO} \cdot E_P$$

ここで、 T_P ：PC鋼材の破壊時引張力

A_{PI} 、 A_{PO} ：内ケーブルおよび外ケーブルの断面積

ϵ_{PI} 、 ϵ_{PO} ：内ケーブルおよび外ケーブルの破壊時のひずみ

E_P ：ケーブルの弾性係数

本橋における試算結果を表3に示す。

一方、外ケーブルのプレストレスを外力として取り扱っている事業者もある。この方式との比較を表4に示す。両者の差は終局時における外ケーブル応力度評価値の差である。すなわち、前者は

$$\sigma_{P1} = 0.7 \times 0.93 \sigma_{PU} = 0.65 \sigma_{PU}$$

であるのに対し、後者は、

$$\sigma_{P2} \leq 0.6 \sigma_{PU}$$

とであるから、後者は常に安全側となる。しかしながら、両者の差は小さく、同レベルの設計とってさしつかえないと考えられる。ここでは、

表3 本橋における作用モーメント

検討位置		中間支点	スパン中央	
配置鋼材	PC鋼材	90本		
	内ケーブル		13本	
	外ケーブル	6本	12本	
作用モーメント	死荷重	自重	-10909	2173
		静荷重	-2248	631
		計	-13157	2804
	活荷重	最大	422	1230
		最小	-2920	-311
		不静定	2518	2518
	プレストレス	クリップ	-606	-614
		減少	-1659	439
		計	252	2343
		破壊	1.3D + 2.5L + 1.0PX	-24150
モーメント	1.0D + 2.5L + 1.0PX	-20203	8222	
	1.7(D+L) + 1.0PX	-27077	9201	
破壊抵抗曲げモーメント		31116	9287	
安全率		1.15	1.01	

図3 外ケーブル応力評価による安全率の差

位置	算出方法	付着あるケーブルの70%とした場合	伸びの変化がないとした場合	
			荷重に加算	抵抗モーメントに加算
中間支点	終局モーメント	27077	25432	27077
	抵抗モーメント	31116	29108	30754
	安全率	1.15	1.15	1.14
スパン中央	終局モーメント	9201	7378	9201
	抵抗モーメント	9287	7104	8928
	安全率	1.01	0.96	0.97

道路橋示方書の手法を採用するものとする。

表4 外ケーブルの固有振動数

張力	t	114.90	114.90	191.50	191.50	268.10	268.10
単位重量	t/m	0.0132	0.0132	0.0132	0.0132	0.0132	0.0132
ケーブル長	m	24.000	16.500	24.000	16.500	24.000	16.500
振動数 Hz	1次	6.08	8.85	7.86	11.43	9.29	13.52
	2次	12.17	17.70	15.71	22.85	18.59	27.04
	3次	18.25	26.55	23.57	34.28	27.88	40.56
	4次	24.34	35.40	31.42	45.70	37.18	54.08

5. ケーブル振動の関する検討

外ケーブルの固有振動数が車両の走行に起因する主桁の曲げ振動数と一致した場合、主桁の振動とともに外ケーブルが共振する可能性があり、共振すると定着部近傍の鋼材に設計上想定していない曲げ応力が発生することも考えられる。そこで、外ケーブルの振動特性を、橋桁とケーブルが一体となったモデルに路面の凹凸を考慮した車両走行のシミュレーションを行うこととした。路面の凹凸については、過去に首都公団で測定したデータを補正して用いた。

外ケーブルを1次元分布質量系として求めた固有振動数を表4に示す。定着長間隔が長いものと短いものについて、また張力が0.6倍のものと1.4倍のものも併記した。一方、橋桁とケーブルが一体となった系での固有値は、表5に示すが、このうち7次のモードが外ケーブル1次の卓越するモードであり、両者の差は、さほど見られない。また、桁の曲げ1次の卓越する振動数1.5Hzよりもかなり大きいため、共振する可能性は小さいと考えられる。図5にモード図の一部を示すが、7~12次は、ケーブルの卓越振動であり、桁とケーブルの振動は完全に分離していた。

この検討結果より、ケーブルの共振が起こる可能性は小さく、実橋でも問題とはならないと考えられる。

表5 橋桁ケーブルモデルによる固有値解析結果

次数	振動数 Hz	減衰定数
1	0.718	0.098
2	1.513	0.021
3	2.800	0.021
4	3.500	0.026
5	5.015	0.031
6	6.860	0.098
7	7.654	0.020
8	7.656	0.020
9	7.811	0.021
10	7.818	0.020
11	7.818	0.021
12	7.820	0.020
13	7.900	0.028
14	8.506	0.098
15	9.361	0.045
16	9.375	0.026
17	9.385	0.035
18	9.440	0.028
19	9.450	0.034
20	11.135	0.020

6. まとめ

以上の検討や解析結果をもとに、実橋の設計を進めた。しかしながら、解析のみでは解明できない項目もあり、これらについては、実験や試験を行う必要を確認をする必要がある。本橋については、以下のような項目についての実験等を予定している。

- ①材料の特性(ケーブル、定着具)
- ②偏向部におけるケーブル特性
- ③定着部の破壊性状確認載荷試験

さらに、完成後の構造物においても、ケーブル交換方法の確認や、外ケーブル、定着部などに計器を配し、測定を行う予定である。これらについても、機会を見て報告することとしたい。

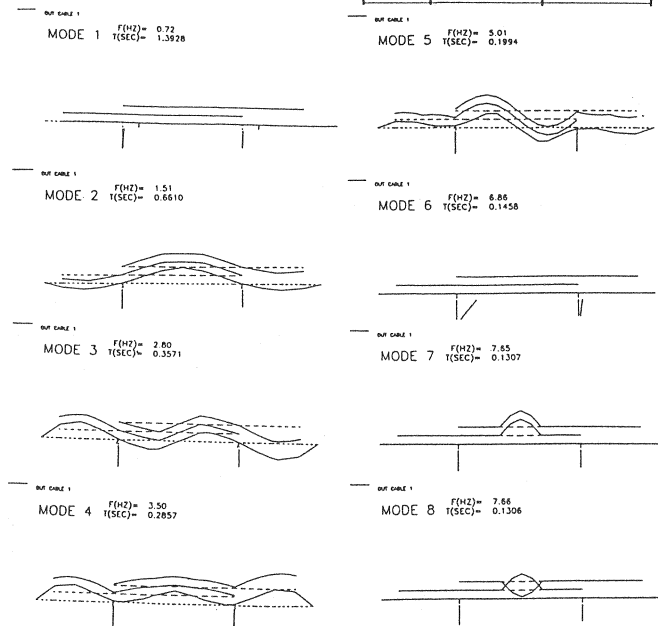


図6 振動モード図