

(38) 岩滑沢橋の設計・施工

日本道路公団 仙台建設局

佐久間 智

同上 同上

水上 善晴

同上 同上

江川 元幾

オリエンタル建設(株)日本鋼弦コンクリート(株)共同企業体 正会員 ○ 熊谷 修悟

1. はじめに

岩滑沢橋は、秋田自動車道の北上西IC～湯田IC間に位置するPC6径間連続箱桁橋(橋長302m、支間6@50m)である。本橋は高速道路のPC橋としては国内で初めて、押し出し工法の押し出し架設時に外ケーブルを使用するとともに、下り線上で製作し押し出した桁を上り線に一括横取架設する特色を有している。

外ケーブル方式は、従前から「内ケーブル方式と比較して経済性・施工性等の面で多くの利点を有する」と言われており、ここ数年新設橋梁への適用も増えてきている。しかし、我が国においては、外ケーブルに関する明確な基準がなく、また種々の課題も残されている。そこで、本報告では外ケーブル方式を用いた場合の課題である1)有効プレストレス力の算定、2)曲げ破壊耐力の算定、3)偏向部の設計、に関する検討を中心に紹介するものである。

2. 岩滑沢橋の概要

2-1 工事概要

橋名 岩滑沢橋
 路線名 秋田自動車道
 規格 第1種3級B規格
 (設計速度80km/h)
 線形 R=700m, A=400m
 縦断 i=0.1588%, 横断 i=6%
 形式 PC6径間連続箱桁
 橋長 302m
 支間 6@50m=300m
 有効幅員 上り線 8.50m, 下り線 9.00m
 活荷重 B活荷重
 工期 平成5年10月29日～平成8年8月13日

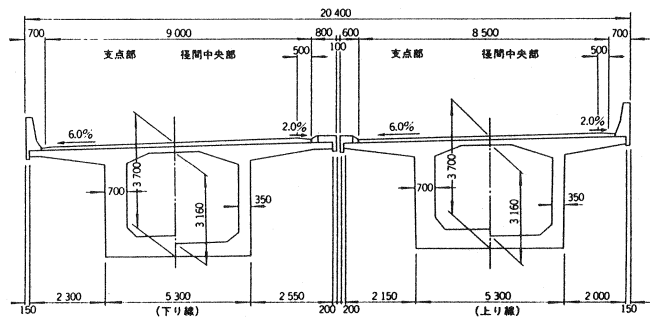


図-1 主桁断面図

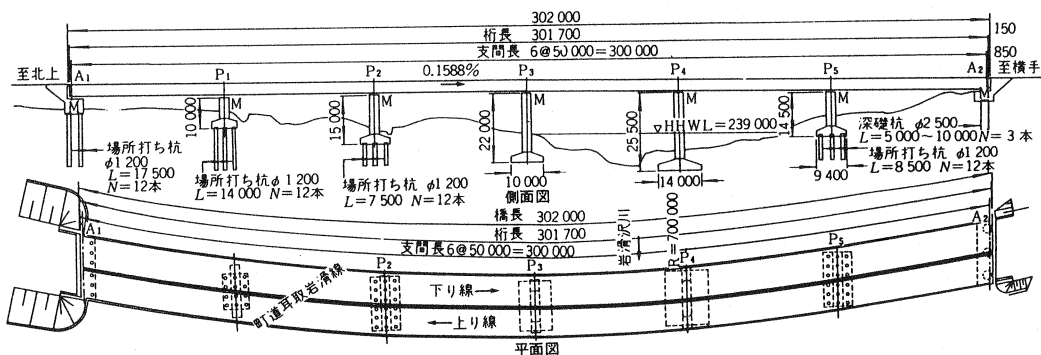


図-2 岩滑沢橋の一般図

2-2 施工概要

本橋は、押し出し架設時に図-3のように、外ケーブル（12T15.2）C1、C2をたすき掛配置し、押し出し終了後は、C2ケーブルを撤去した後、C3ケーブルを配置する工法を採っている。C1、C2ケーブルは1支間製作毎に各支点横桁で定着後、接続具を用いてケーブルを連続化している。これはC2ケーブルの緊張力解放作業を各径間毎ではなく、①ブロック桁端部のみで行える利点を有している。

上り線の一括横取り架設は架橋位置の地理的条件を要因に経済性を考慮して採用された工法である。本来、上下線施工の場合、各線上に製作・押し出し設備を設けるのが一般的であるが、押し出し完了後の製作ヤードの復旧が大規模となるほか、豪雪地帯での通年施工への対応策である上屋設備等も大型化する。本橋では、これら設備等を縮小できれば、一括横取り工法の工費増額を考えると経済的であると判断した。以下に施工手順を示す。

1) 受替工

各橋台・橋脚の横取り用鉛直ジャッキを打上して、橋体を滑り支承から鉛直ジャッキ架台へ受替える。

2) 横移動工

橋脚・橋台上に配置された横取軌条上を水平ジャッキを使用して鉛直ジャッキを下り線から上り線へと押し出す。

尚、この際の管理システムとして、各ジャッキを連動させ橋体を横移動させるために各橋脚・橋台毎に変位センサーを取り付けてジャッキのストロークを制御するシステムとする。

3) 設置工

橋体を上り線の所定の位置まで横移動させた後、予め仮置されている支承を所定の位置に据付け、橋体を鉛直ジャッキにて下し、反力を支承へ盛替える。

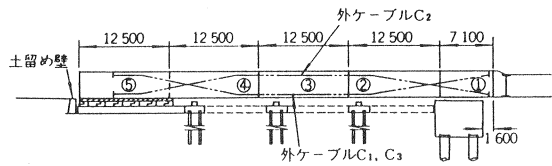


図-3 押し出し時の外ケーブル配置

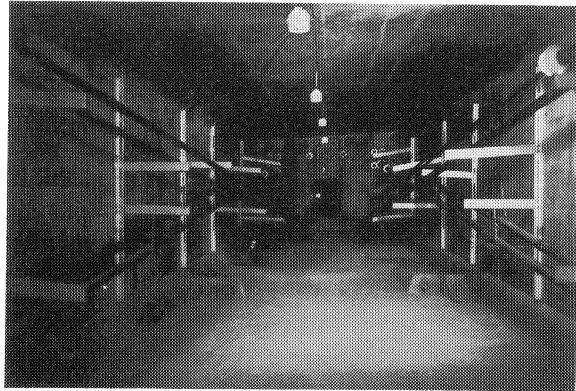


写真-1 押し出し時の外ケーブル配置

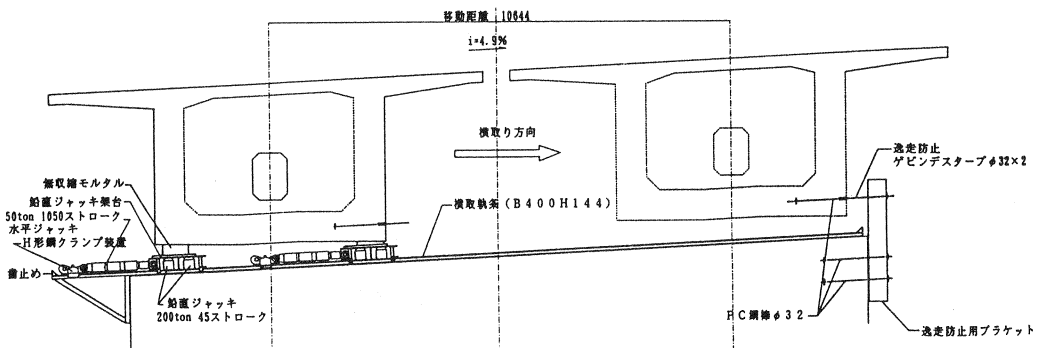


図-4 横取概要図

3. 外ケーブルの課題

3-1 有効プレストレス力の算定

現在、外ケーブルの有効プレストレス力の算出方法として考えられているものに、

- 1) 猪股博士の提案式
- 2) 部材評価法
- 3) 道路橋示方書の式

等がある。本橋では断面力の算出にあたり、外ケーブルによるせん断力作用方向の分力が構造解析段階で考慮できることなどから部材評価法を採用しており、有効プレストレス力の算出にあっても部材評価法を用いることにした。図-5に構造モデルを示す。主桁は曲げ剛性(EI)と軸剛性(EA)を有する梁部材、

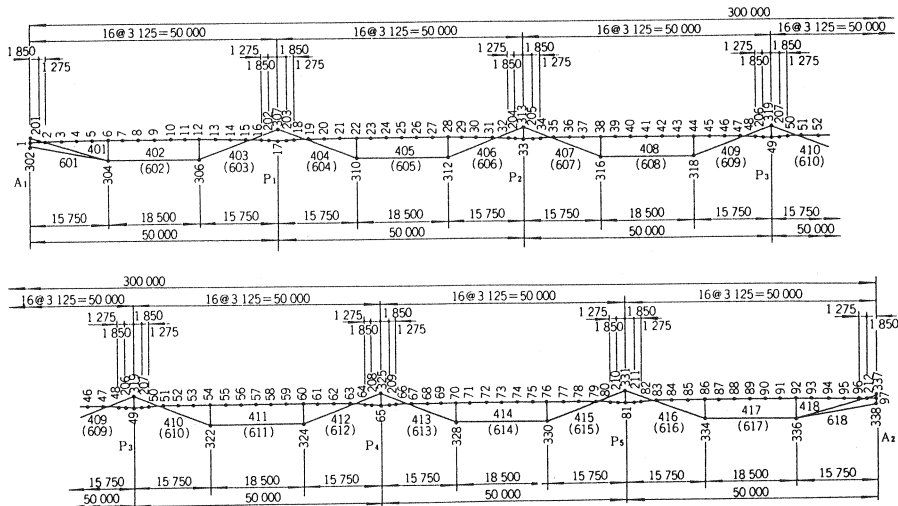


図-5 構造モデル

表-1 外ケーブルの有効係数(その1)

外ケーブルは軸剛性のみを有する弦部材とし、横桁と偏向部は剛なダミー部材として扱っている。

部材評価法によって求められた外ケーブルの有効係数が表-1である。参考として従来の道路橋示方書の式と猪股博士の提案式でも有効係数を算出してみたが、両者に差はなかった。外ケーブル方式においても、設計荷重作用時レベルでは部材は微小変形の範囲にあり、緊張材配置位置における歪変化の影響は小さいと考えてよいと思われる。

	C ₁ ケーブル			C ₃ ケーブル		
	S417	S414	S411	S617	S614	S611
① 自重	16.0	5.8	7.4			
② 橋面荷重	3.7	1.4	1.8	3.7	1.4	1.8
③ プレストレス(鋼棒)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
④ 外ケーブル	752.0	758.0	745.0	758.0	692.0	738.0
⑤ 弾性短縮	-9.3	-6.8	-7.3	0.0	0.0	0.0
⑥ クリープ・乾燥収縮	-31.0	-45.4	-44.8	-29.3	-41.4	-41.2
⑦ レラクセーション	-37.5	-37.9	-37.3	-37.9	-34.6	-36.9
⑧ 小計(⑤+⑥+⑦)	-77.9	-90.1	-89.4	-67.2	-76.2	-78.1
有効係数(1-⑧/④)	0.896	0.881	0.880	0.911	0.890	0.894

表-2 外ケーブルの有効係数(その2)

	道路橋示方書	猪股博士の提案式
径間中央	0.890	0.889
中間支点	0.888	0.888

3-2 曲げ破壊耐力の算定

一般に、外ケーブルのようなコンクリートとの付着がないP.C鋼材の場合、平面保持の仮定が適用できない。すなわち図-6に示すように終局荷重時の桁変形に伴う外ケーブルの張力変化や有効高変化が不明であるため、部材断面の曲げ破壊耐力の算定にあたって、付着のある内ケーブルと同様の取扱いができない。

本橋では、以下に述べる4方法を用いて曲げ破壊耐力の安全性の確認を行った。

- 1) 方法1: 外ケーブルを張力増加を見込まない引張抵抗材として考える。(ガイドライン¹⁾)
 - 2) 方法2: 外ケーブルを張力増加を見込まない外力として作用させる。
 - 3) 方法3: アンボンドケーブルの考え方を準用する(道路橋示方書, ACI)
 - 4) 方法4: 非線形解析による方法
- 方法1~3については曲げ破壊安全度を満足するまで次の4段階の検討を行うこととした。

段階A: 鉄筋無視

段階B: 鉄筋(最小鉄筋量、必要引張鉄筋量)考慮

段階C: 補強鉄筋考慮

段階D: PC鋼材補強

更に抵抗モーメントの算出には、ケース(イ)コンクリートの圧縮ひずみが $\epsilon_c = 0.0035$ に達する時、ケース(ロ)鋼材の伸びがJISに規定する値に達した時の場合を考慮した。表-3に計算結果を示す。

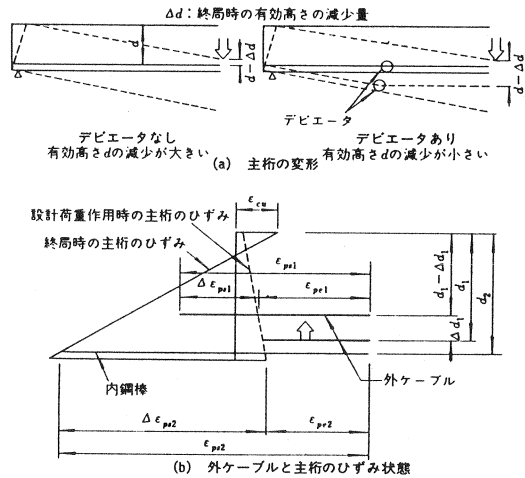
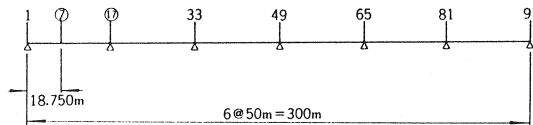


図-6 終局時の主桁の変形および外ケーブルと主桁のひずみ状態

表-3 主要断面の曲げ破壊安全度



方法	条件	ケース	7 断面			17 断面		
			破壊モーメント (tf·m)	抵抗モーメント (tf·m)	曲げ破壊安全度	破壊モーメント (tf·m)	抵抗モーメント (tf·m)	曲げ破壊安全度
方法1 引張り抵抗材	鉄筋無視	①	10 087.1	8 539.4	0.847	-11 266.7	-12 545.6	1.114
		②	10 087.1	8 522.2	0.845	-11 266.7	-12 545.6	1.114
	鉄筋考慮	①	10 087.1	10 640.1	1.055	-11 266.7	-16 848.8	1.495
		②	10 087.1	10 595.1	1.050	-11 266.7	-16 848.8	1.495
方法2 外力扱い	鉄筋無視	①	8 186.0	6 641.1	0.811	-9 789.2	-10 881.4	1.112
		②	8 186.0	6 624.1	0.809	-9 789.2	-10 881.4	1.112
	鉄筋考慮	①	8 186.0	8 741.8	1.068	-9 789.2	-15 191.1	1.552
		②	8 186.0	8 696.3	1.062	-9 789.2	-15 191.1	1.552
方法3-1 アンボンド(道示)	鉄筋無視	①	10 087.1	10 787.9	1.069	-11 266.7	-16 060.0	1.391
	鉄筋考慮	①	10 087.1	12 833.4	1.272	-11 266.7	-19 307.1	1.714
方法3-2 アンボンド(ACI) (参考)	鉄筋無視	①	10 087.1	9 197.6	0.912	-11 266.7	-13 216.5	1.173
	鉄筋考慮	①	10 087.1	11 293.0	1.120	-11 266.7	-17 508.7	1.554
全内ケーブル	鉄筋無視	①	10 087.1	11 917.3	1.181	-11 266.7	-15 930.1	1.414
	鉄筋考慮	①	10 087.1	13 974.6	1.385	-11 266.7	-20 177.2	1.791

また、非線形解析は段階Bについてのみ行い、結果は次のとおりである。

道路橋示方書における終局荷重作用時に乗じる係数(次式の α)についてみると、

$$\alpha \times (M_d + M_l)$$

M_d : 死荷重モーメント

M_l : 活荷重モーメント

コンクリートのひずみが $\epsilon_c = 0.0035$ に達する時の係数は $\alpha = 2.31$ となりこの値は道路橋示方書に規定されている終局時の同荷重組み合わせの1.7を大きく上回るものであり、十分な曲げ破壊耐力を有する結果となった。

3-3 偏向部の設計

偏向部はガイドラインで提案されている簡易計算手法に基づき、図-7に示す各部の引張力を算出するとともに、局部的応力集中が生じることも予想されたため、立体FEM解析を行い、両者を比較検討の上設計を行った。

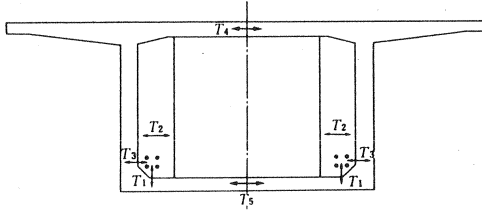


図-7 偏向部各個所の断面力

- T1 : 外ケーブルの鉛直分力による引張力
- T2 : 外ケーブルにより偏向部に働く割裂引張力
- T3 : 外ケーブルの水平分力による引張力
- T4, T5 : フレームとして計算した場合の上下の床版に働く軸力

図-8はFEM解析モデルである。

表-4は両者の断面力の比較表である。両者の引張力の差は比較的大きな値となっている。ガイドラインではT1およびT3について外ケーブルの分力を100%引張力としているため、箱型断面の影響が考慮されず、大きな差になって表われたと思われる。従って本橋では、偏向部の形式がリブ形式を採用しており、ガイドラインにおける計算手法で取り上げているダイヤフラム形式とは構造が異なることも考慮してFEM解析の結果を基に補強鉄筋を算定することとした。尚、FEM解析による結果の確認とあわせて今後の偏向部の設計に関する資料を得る目的で現場における計測を計画した。

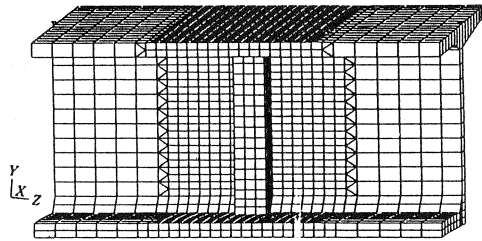


図-8 立体FEMモデル

表-4 偏向部断面力の比較(単位 tf)

引張力	FEM解析	ガイドライン
T1	85.3	172.2
T2	14.9	22.8
T3	32.4	66.4
T4	6.3	-6.4
T5	-15.4	-60.0

4. 現場計測中間報告

本橋は現在施工中であるため、偏向部の設計を行った状態で計測を実施するに至っていないが、FEM解析結果の確認をする為、押出し状態でのFEM解析を行い、計測を実施している。ここでは中間的にその計測結果を報告する。図-9は計測時の施工状況である。

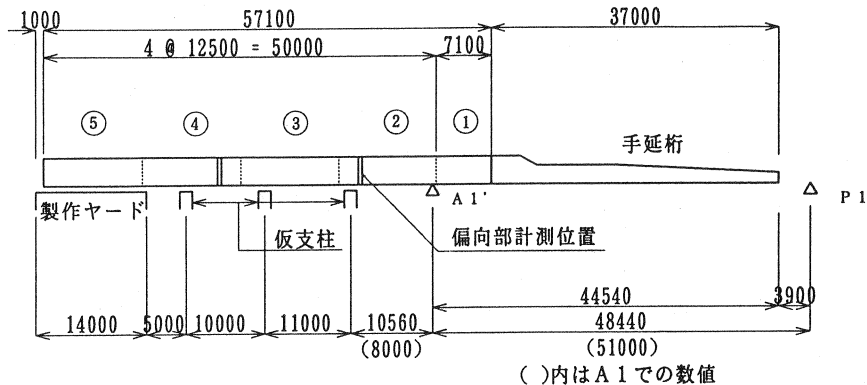


図-9 計測時の施工状況

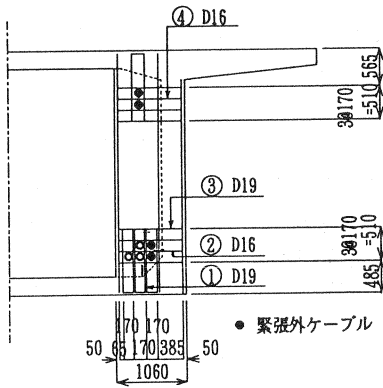


図-9 鉄筋計の配置

表-5は鉄筋応力度の比較表である。実測値はFEM解析よりも全体的に小さく、55~80%の値となっており、偏向部の補強筋の算定に限れば、FEM解析により補強した今回の偏向部は一応安全側と思われる。

偏向部付近の下床版コンクリートゲージの計測結果では、主応力については実測値の方が大きな値となったが、圧縮応力なので問題ないと思われる。せん断応力度に対しては安全側となっている。

5. まとめ

- 1) 本橋では、有効プレストレス力を決めるにあたって3方法による有効係数を算出したが、いずれも $\eta = 0.9$ 程度と同じ値を示した。
- 2) 曲げ破壊耐力の算定ではガイドラインで提案している「外ケーブルを張力増加を見込まない引張抵抗材として考える」案が最も安全側となり、本橋の設計では最終的にこの案を採用した。
- 3) 本橋の場合、偏向部の設計はFEM解析を用いたが、偏向部の形状は橋梁形式や施工方法の違いにより様々で、その検討方法も異なるものと思われる

6. おわりに

近年、時代の趨勢から省力化施工・構造物のローコスト化が望まれており、外ケーブルに対する期待が高まる中、外ケーブルに関する明確な基準案の作成は我々技術者の急務である。本設計が今後の外ケーブルの設計・施工に役立てば幸いである。

最後に、本橋を設計・施工するにあたり、御協力いただいた関係者各位に深く感謝する次第である。

〈参考文献〉

- 1) 財団法人道路調査会：外ケーブル方式の設計・施工ガイドライン

表-5 偏向部の実測値とFEM解析の比較表

		(kgf/cm ²)			
鉄筋計		①	②	③	④
鉄筋応力度 (FEM換算値)		96	80	18	39
鉄筋応力度 (実測値)		79	44	13	27
実測値/FEM換算値の比		0.82	0.55	0.72	0.69
ヤング係数	コンクリート (Ec)	296000	296000	296000	296000
(実測値)	鉄筋 (Es)	2140000	2140000	2140000	2140000
ヤング係数比 (実測値)		7.23	7.23	7.23	7.23
コンクリート応力度 (FEM)		-13.3	-11.0	-2.5	-5.4

表-6 下床版上面の実測値とFEM解析の比較表

		(kgf/cm ²)		
コンクリートゲージ		C1	C2	C3
最大主応力度	(FEM)	4.4	8.5	4.4
	(実測値)	0.0	0.0	0.0
実測値/FEMの比		—	—	—
最小主応力度	(FEM)	14.5	9.6	14.5
	(実測値)	15.0	11.0	16.0
実測値/FEMの比		1.03	1.15	1.10
方向 θ (deg)	(FEM)	26.0	0.0	-26.0
	(実測値)	8.3	2.0	-3.1
せん断応力度	(FEM)	-4.0	0.0	4.0
	(実測値)	-2.1	-0.4	0.9
実測値/FEMの比		0.54	—	0.22

(+が圧縮)

表-7 下床版下面の実測値とFEM解析の比較表

		(kgf/cm ²)		
コンクリートゲージ		C4	C5	C6
最大主応力度	(FEM)	5.8	6.0	5.8
	(実測値)	11.0	9.0	8.0
実測値/FEMの比		1.90	1.50	1.38
最小主応力度	(FEM)	14.1	13.4	14.1
	(実測値)	21.0	20.0	19.0
実測値/FEMの比		1.49	1.49	1.35
方向 θ (deg)	(FEM)	16.1	0.0	-16.1
	(実測値)	2.9	-2.6	-8.0
せん断応力度	(FEM)	-2.2	0.0	2.2
	(実測値)	-0.5	0.5	1.5
実測値/FEMの比		0.23	—	0.69

(+が圧縮)