

外ケーブルを活用したプレキャストセグメント連続箱桁橋の設計

持田 淳一*1・前川 利聡*2・鎌田 文男*3・橋本 学*4

1. はじめに

今後、急速な高齢化が進み労働人口の減少が予測されている我が国において、限られた財源で必要な社会資本を整備していくために、コストダウンと省力化、急速施工を可能にする建設技術が求められている。

PC 橋梁のうち径間長が 25~50 m の中スパン橋は、年間の建設件数の約 1/4 を占めているが、「T 桁橋」や、「合成桁橋」として複数の T 形（または I 形）の桁を 1 本ずつ架設して床版、横桁を後施工する、あるいは「場所打ち箱桁橋」として固定支保工の上で型枠や鋼材を組み立て、コンクリートを打設するという労働集約型の施工形態、熟練工を必要とする施工法により施工されているのが実情である。

この中スパン PC 橋建設の省力化、合理化を目的として、プレキャストセグメント工法によるスパン・バイ・スパン架設技術の開発を行った。そして、この架設技術を用いて中国横断自動車道・大和高架橋の 3 径間連続桁 (30 m×3 スパン) において試験施工を実施した¹⁾。この試験施工の試みは、工事規模が大きくなればコスト競争力を持つと言われるプレキャストセグメント工法に対して、工事規模の小さな橋梁における適用性を目指したものである。

本文では、大和高架橋の設計段階における技術検討とともに、新たに開発したセグメントのジオメトリーコントロール（線形管理）システムについて報告する。

2. 工事の概要

大和高架橋は、岡山市と鳥取県米子市を結ぶ中国横断自動車道 (図-1) における賀陽 I.C. (仮称) の南方約 2 km に位置する全長 330 m の PC 上部工で、スパン 30 m の 3 径間連続桁橋と主スパン 100 m の 3 径間連続ラーメン橋からなる (図-2)。橋桁は有効幅員が 9.0 m

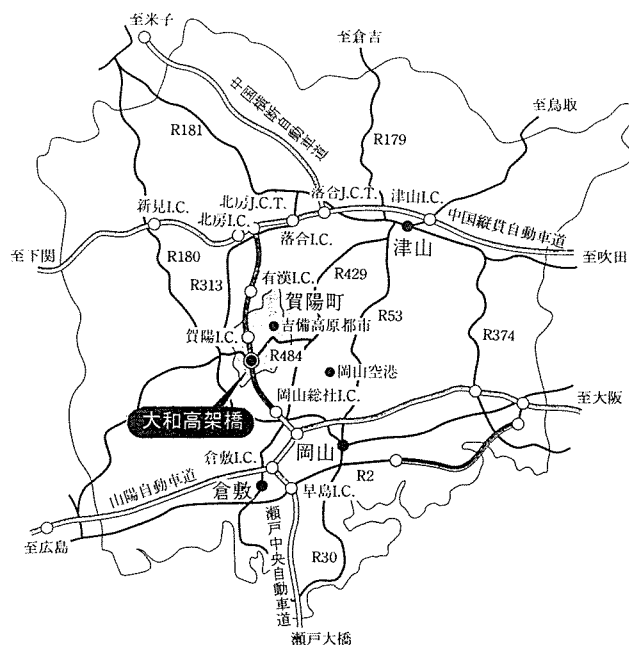


図-1 位置図

で、半径 3 000 m の緩やかな曲線をなし、縦断方向と横断方向にそれぞれ 2.55% と 2% の勾配を有する。

このうち A₁~P₃ までの上部工において、プレキャストセグメント工法によるスパン・バイ・スパン架設の試験施工を行った。スパン・バイ・スパン架設は、図-3 のようにあらかじめ製作したセグメントを架設ガーダー上に 1 スパン分並べ置き、PC 鋼材によりプレストレスを与えて一径間分を一括して構築する新しい架設方法である (写真-1)。

本橋に適用した開発技術は、中スパン PC 橋建設の省力化、急速化、ひいては建設コストの低減を目指して、設計からセグメントの製作、架設にまたがる要素技術を 1 つのコンセプトのもとに統合したものである (図-4)。

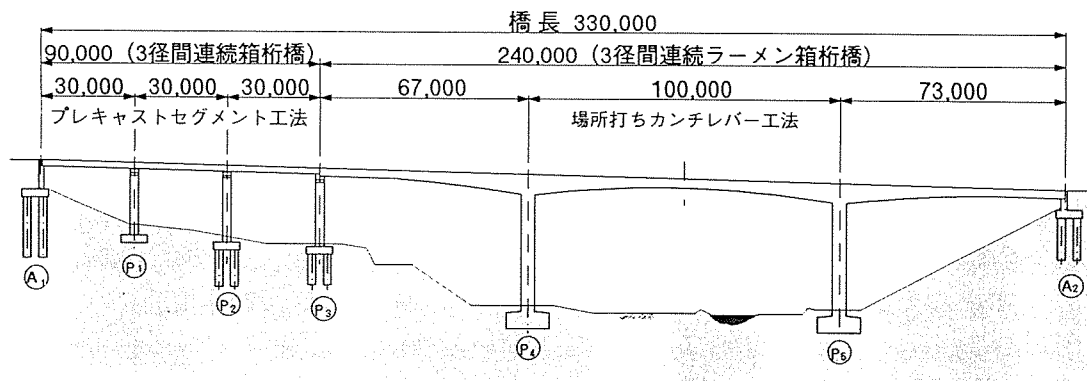
A₁~P₃ 間の上部工の主要工事数量を表-1 に示す。

*1 Junichi MOCHIDA : JH 日本道路公団 中国支社建設部構造技術課 課長代理

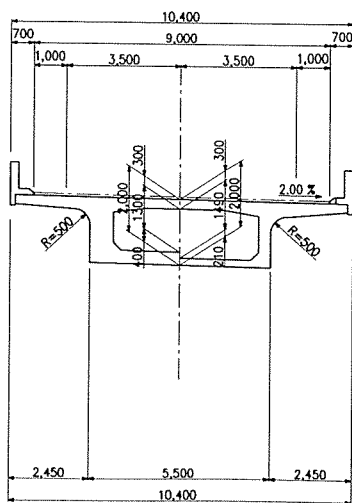
*2 Toshiaki MAEKAWA : JH 日本道路公団 名古屋建設局伊勢湾岸道路工事事務所

*3 Fumio KAMADA : (株) 大林組 東京本社土木技術本部設計第二部 設計課長

*4 Manabu HASHIMOTO : (株) 大林組 東京本社土木技術本部設計第二部



PC連続箱桁橋
(プレキャストセグメント工法)



PCラーメン箱桁橋
(場所打ちカンチレバー工法)

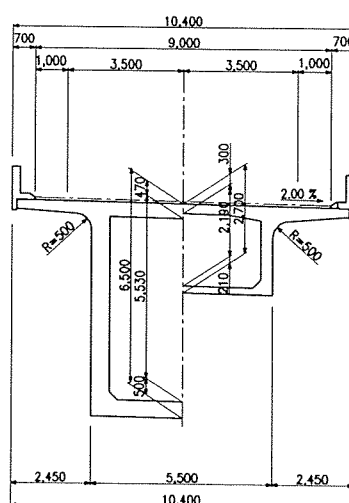


図-2 全体一般図

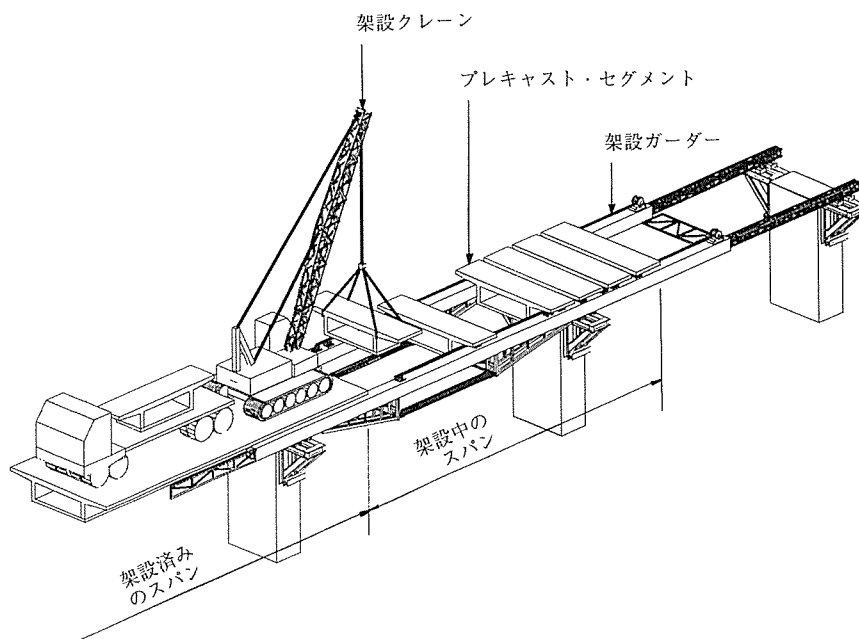


図-3 スパン・バイ・スパン架設の概念図

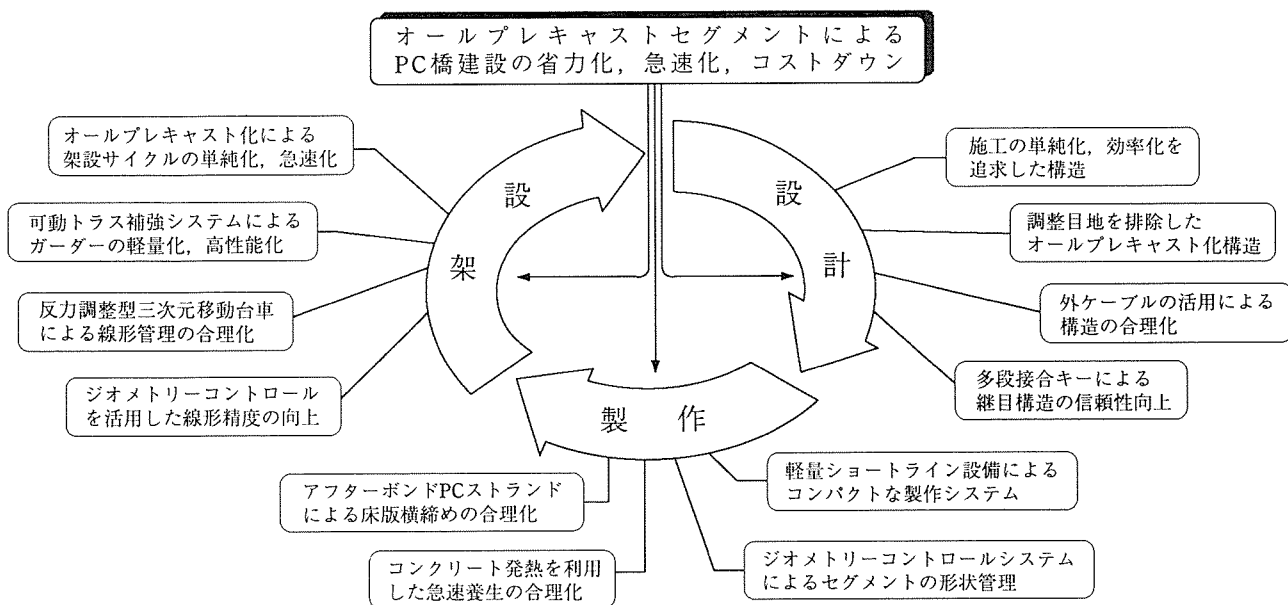


図-4 オールプレキャストセグメント PC 橋の概念



写真-1 架設ガーダーへのセグメント載荷状況

表-1 主要工事数量 (主桁部分)

名称		数量	適用
コンクリート		590 m ³	$\sigma_{ck}=40 \text{ N/mm}^2$
型 枠		2 200 m ³	プレキャストセグメント用型枠
鉄 筋		100 t	SD 345
PC 鋼材	縦締め	内ケーブル	6 200 kg SWPR 7 B 12 S 12.7
		外ケーブル	11 500 kg SWPR 7 B 19 S 15.2
	縦 締 め	6 100 kg	SWPR 19 1 S 21.8

3. 設計の基本方針

本橋の設計では、プレキャスト化による施工の合理化、工期短縮効果を引き出すために、使用材料の最小化

よりもむしろ単純で効率的な施工ができる構造とすることを優先した。このために、外ケーブルを積極的に採用して構造の合理化を図るとともに、以下に示す方針に基づいて桁断面やセグメント長、PC 鋼材の構成配置等の選定を行った。

- ① 桁高の一定化
- ② 部材断面寸法の一定化
- ③ セグメント長の均等化
- ④ 施工性（特に型枠の組立・取外しの容易性）を重視したセグメント形状
- ⑤ 不連続部（定着突起、偏向部）の設置数の制限、パターン化
- ⑥ PC ケーブルの大容量化による配置本数の低減
- ⑦ PC ケーブル、定着具の配置のパターン化
- ⑧ 現場施工となる調整目地の削除

4. 設計に関する技術検討

(1) 桁 高

北米を中心とした海外でのスパン・バイ・スパン架設の実績^{2),3)}におけるスパンと桁高の関係(図-5)によると、30 m のスパンでは1.8~2.1 m の桁高が採用されている。図中の破線は、固定式支保工を用いた場所打ち工法による PC 箱桁橋の国内実績のスパンと桁高の平均的関係⁴⁾であるが、これよりも約 30~40 cm 大きめの桁高が採用されているのがわかる。これは、箱桁内空間での型枠の組立・解体や緊張などの作業性の確保、あるいは大半の事例で利用している外ケーブルの断面図心からの偏心距離の確保のためと推測される。

30 m×3 スパンの条件で、桁高を1.7 m, 2.0 m, 2.3 m とした場合の経済性の比較を行うと、図-6のように

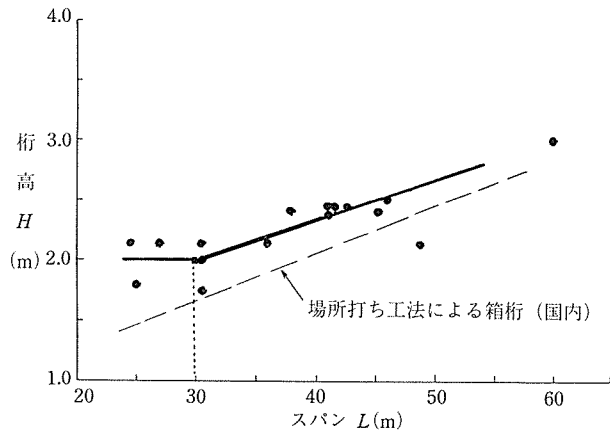


図-5 スパン・バイ・スパン架設におけるスパンと桁高の関係

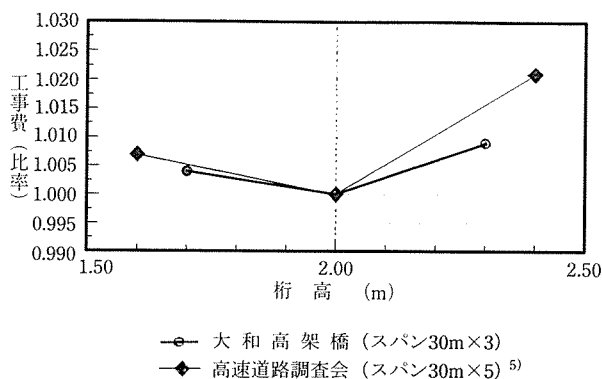


図-6 PC 橋の桁高と上部工費の関係
(スパン・バイ・スパン架設)

2.0 m の桁高がわずかながら有利となる結果となった。同図には、別途に行われた 30 m×5 スパンの条件での検討結果⁵⁾も合わせて示しているが、同様の傾向となっている。これは、桁高が大きくなるとコンクリートや型枠の数量は増加するが、縦方向 PC 鋼材は断面図心からの偏心距離が大きくなることにより鋼材数量が減少し、それらの兼ね合いにより、30 m 程度のスパンでは、桁高 2.0 m 程度が断面効率の面で優れていることを示すものと考えられる。また、箱桁内の空間も高さを約 1.5 m 確保できれば、セグメントの製作・架設時の作業性が比較的良好と考えられる。

以上を考慮して桁高は 2.0 m を採用することとした。

(2) 断面の形状および部材寸法

断面形状は、上床版の全幅が 10.1 m であることから一室箱桁とし、大和高架橋全体の景観を配慮して、接続する PC ラーメン橋と同一の下フランジ幅 (5.5 m)、垂直ウェブとして連続性を持たせることとした。

上床版は構造計算上の必要厚とし、張出し部先端厚は横締 PC 鋼材 (1 S 21.8) の定着部背後の補強鉄筋の配置に必要な厚さ (27 cm) とした。

下床版は、支間中央部では鋼材の配置に必要な最小厚

20 cm、支点部は構造計算上の必要厚 40 cm とし、応力の流れを円滑にするため、中間に 30 cm 厚のセグメントを挟み、版厚を 10 cm ずつ段階的に変化させることとした。

ウェブに関しては、支点横桁に定着した縦方向 PC 鋼材によるプレストレスの評価方法によって、支点付近の斜め引張応力の計算値が大きく異なる。本橋では道路橋示方書 III 編 4.4.7 解説の T 形の桁におけるプレストレスの広がりの方針に準じてプレストレスの分布を評価し、実橋において計測によりその妥当性を確認することとした。セグメント製作の施工性を考慮し、せん断補強用 PC 鋼材は配置せず、ウェブ厚を 70 cm まで厚くすることで斜め引張応力の計算値を許容値 ($\sigma_{Ia}=10 \text{ kgf/cm}^2$) 以内に収めることとした。

一方、支間中央部においては、通常ウェブ内に曲線配置する縦方向 PC 鋼材がないため、ウェブ厚はコンクリートの充填に必要な最小厚として 30 cm で十分である。そこで中間に厚さ 50 cm のセグメントを設けて、ウェブ厚を 20 cm ずつ段階的に変化させ応力の流れの円滑化を図った。

セグメントの製作上、部材断面寸法を一定とすれば型枠の変更がなく、組立・解体作業が単純となるが、下床版厚とウェブ厚については、内型枠に着脱が容易な調整部分を設ける等の工夫をすれば寸法変化は比較的容易であることから、部材寸法を段階的に変化させる構造を採用した。

(3) セグメント長

セグメント長を長く採り、製作・架設するセグメントの総数を減らせば工期は短縮し、労務費もダウンするが、その一方で仮設機材 (特に吊上げ用重機) のコストが上昇する。そこで吊上げ用重機として容量が 80 tf、100 tf、150 tf のクレーンを想定し、作業半径よりセグメントの最大重量をそれぞれ 23.5 tf、45 tf、82.5 tf とした場合のケースについて、工事費と工期を試算した。その結果、表-2 のようにセグメント重量を 45 tf とする場合が最も経済的となった。また、架設の済んだ橋桁をセグメントの運搬路とする場合の桁の耐力や、運搬する

表-2 セグメント長の比較検討

セグメント長 (重量)	セグメント数	架設クレーン	架設機材費	工事工期	評価	
1.7 m (23.5 t)	1*	64 個	80 t c/c	1.09	6.0 ヶ月	△
	2*			1.03	5.0 ヶ月	○
2.8 m (45.0 t)	37 個	100 t c/c	1.00 (基準)	4.7 ヶ月	◎	
5.8 m (82.5 t)	19 個	150 t c/c	1.16	4.0 ヶ月	△	

*: セグメント製作型枠の基数

◇設計報告◇

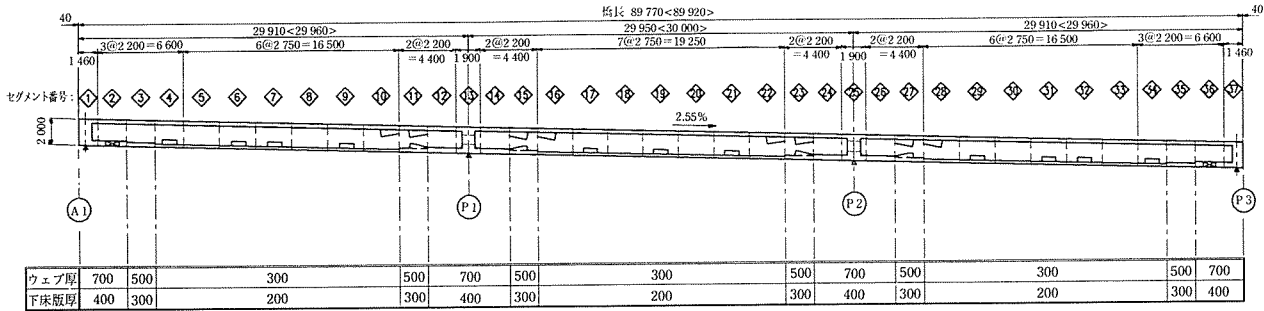


図-7 セグメントの分割

トレーラーの確保の容易さ等も考慮して、セグメント重量を最大 45 tf (標準セグメントの長さとしては 2.75 m) とし、セグメントの長さ、断面寸法の違いをできるだけ少なくなるよう分割した(図-7)。

(4) 外ケーブル使用率の検討

セグメントの製作上、箱桁のウェブ内に曲線配置される縦方向 PC 鋼材の存在は、そのシースの形状管理(継目部での折れ防止を含む)や継目部の型枠組立におけるシース貫通部と接合キーの配置調整などに手間が掛かり、コンクリートの打込みにも細心の注意を必要とする。このウェブ内の縦方向 PC 鋼材をすべて、コンクリートの断面外に配置する「外ケーブル」に置換えできれば、施工性が向上するだけでなく、ウェブ厚もコンクリートの充填に必要な最小厚まで削減でき、桁自重の低減が可能となる。

プレキャストセグメント桁は、設計荷重作用時の荷重状態において継目部に引張応力を生じさせない設計を行うために、縦方向 PC 鋼材をすべて内ケーブルとした桁では曲げ破壊安全度に余裕がある。そこで曲げ破壊に対する安全性を確保できる範囲で、内ケーブルを外ケーブルに置換えることとし、その限界を検討した。外ケーブルの終局耐力算定時のモデル化は、引張抵抗材と見なして平面保持を仮定する方法を用い、応力-ひずみ曲線

は部材の変形に伴う応力増加を見込まずに有効プレストレスの値で一定とした⁶⁾。なお、比較のために応力増加を 10 kgf/mm² および 20 kgf/mm² 見込んだケースについても検討を行った。その結果、図-8 に示すように縦方向 PC 鋼材の約 2/3 程度まで外ケーブルに置換え可能であることがわかった。

(5) 外ケーブルの構造

外ケーブルの tendon 構成を選定するために行った検討の結果の一部を表-3 に示す。Tendon 容量が大きくなり、配置本数が少なくなるにつれて、PC 工事費は低減する。また、本橋での箱桁内空間におけるケーブルおよびその定着部のレイアウトを考えると、断面当たり 6~8 本程度が配置できる限界と考えられる。これより、外ケーブルは 19 S 15.2 (SWPR 7 B) を採用することとした。

支間の途中に配置する偏向部の構造は、サドル形式を採用した(図-9)。これは、ダイヤフラム形式やリブ形式と比較して、偏向部の鉄筋や型枠の組立施工が容易であり、ケーブルを分散配置するために偏向部を多く設置しても死荷重の増加量が比較的少ないことなどを考慮したことによる(表-4)。なお、サドル形式の偏向部の設計法の詳細は確立されておらず、様々な構造形状、鉄筋補強が採られている。これに関して R.J. Beaupre 等は偏向部の縮尺モデルによる実験的研究により力学的挙動を明らかにし、それに基づく具体的な設計方法と、単純化した構造形状、鉄筋補強を提案している⁷⁾。本橋ではこの提案に準拠してサドル形式偏向部を設計し(図-10)、計測によりその妥当性を確認することとした。

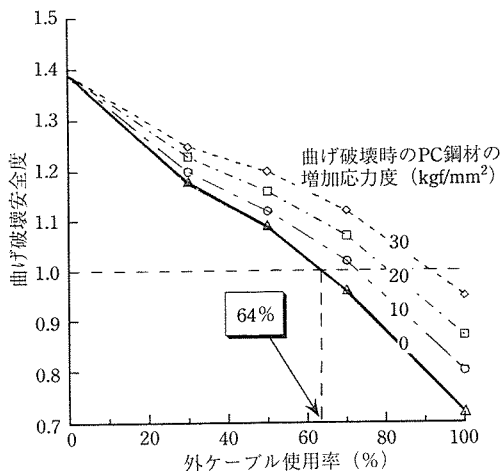


図-8 外ケーブル使用率の検討

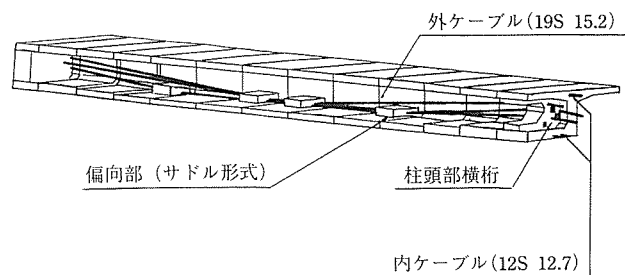


図-9 外ケーブルの構造

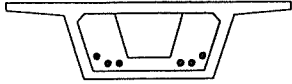
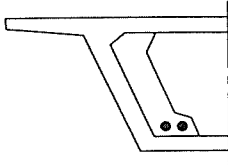
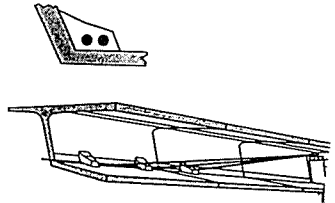


表-3 外ケーブルの選定

候補材	12 S 12.4	12 S 12.7	12 S 15.2	12 S 15.2	19 S 15.2
材質	SWPR 7 A (7本より A種)	SWPR 7 B (7本より B種)	SWPR 7 A (7本より A種)	SWPR 7 B (7本より B種)	SWPR 7 B (7本より B種)
断面積 (mm ²)	1,114.8	1,184.52	1,664.4	1,664.4	2,635.3
単位重量 (kg/m)	8.748	9.288	13.212	13.212	20.919
許容引張応力度* (kgf/mm ²)	105	114	105	114	114
許容引張力* (tf)	≤117	≤135	≤176	≤192	≤303
外ケーブル使用率≒65%の時の外ケーブルの配置本数	16本	14本	12本	10本	6本
外ケーブル、定着具の配置 サドル形式偏向部の適用性	ケーブル本数が多く、配置が不可能	ケーブル本数が多く、配置が不可能	ケーブル本数が多く、配置が不可能に近い。12本は桁高2.4 m, ダイヤフラム形式の偏向部では実績あり	桁高 2.5 m の場合に 10本を配置した事例はあるが、桁高 2.0 m では配置が困難。ダイヤフラム or リブ形式が必要	6本の配置は容易。サドル形式の偏向部が適用できる 【事例】 ロングキー橋 モンテレー高架橋
施工性	ジャッキは、最大径 28 cm, 全長 1.0 m, 重量 248 kg とコンパクトで、箱桁内部での移動、据付けは比較的容易。	ジャッキは、最大径 33 cm, 全長 1.1 m, 重量 320 kg と比較的コンパクトで、箱桁内部での移動、据付けは比較的容易。	ジャッキは、最大径 33 cm, 全長 1.1 m, 重量 320 kg と比較的コンパクトで、箱桁内部での移動、据付けは比較的容易。	JR 四万十川橋梁 首都高湾岸線 BY 433 区 (エポキシコーティング、保護管なし)	センターホールジャッキが 740 kg と重く、径も大きい。が、桁端部で緊張する分には支障とならない。
外ケーブルの実績	JH 小田原港西橋 JH 天ヶ瀬橋			JR 四万十川橋梁 首都高湾岸線 BY 433 区 (エポキシコーティング、保護管なし)	JH 重信川高架橋 JH 小田原港中橋 (A種) JR 屋代南・北橋梁, 他
外ケーブル使用率≒65%の時のPC工事費** (内・外共)	-	-	1.11 (偏向部をダイヤフラム or リブ形式とする影響は含まない)	1.01 (偏向部をダイヤフラム or リブ形式とする影響は含まない)	1.00 (基準)
評価	×	×	×	△	◎

* 設計荷重作用時に対する値

** PC工事費は、内ケーブルに関してはPC建設業協会、「PC橋(場所打固定式支保工法)の標準積算例と解説」(平成4年版)に基づいて求め、外ケーブルに関しては重量当りの工事費(材工共)を内ケーブルと同じ値として積算した。

表-4 外ケーブル偏向部の構造形式の選定

構造形式	ダイヤフラム形式	リブ形式	サドル形式
構造概要			
偏向部/外ケーブルの配置	死荷重の増加を考慮して、一般に集中配置(2ヶ所/スパン) 		分散配置 
死荷重の増加量	△大きい (15t/スパン)	○小さい (6.6t/スパン)	○小さい (7.7t/スパン)
施工性	△偏向部の施工が複雑になる	△同 左	○偏向部の施工は比較的容易
評価	○	○	◎

* ダイヤフラムとリブ形式は、サドル形式の設計の結果と過去の採用事例を参考にして、2ヶ所/スパンの集中配置で計算

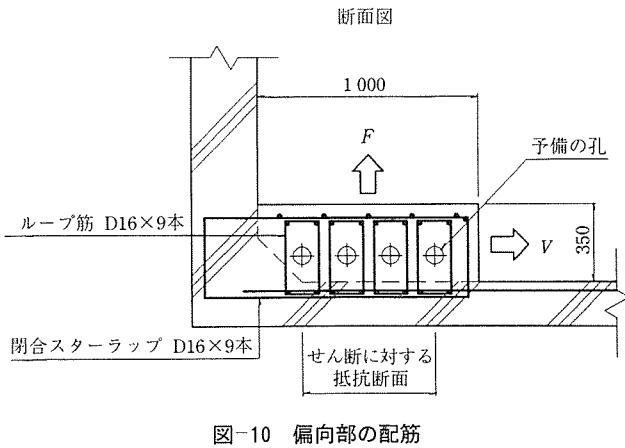


図-10 偏向部の配筋

偏向部におけるダクトの曲げ半径は、内ケーブルと同様にダクト径の100倍以上とすることを基本とした。ただし構造設計から求めた偏向部の寸法内に湾曲部が収まらない箇所については、コンクリートの支圧応力度を検討するとともに、欧米における外ケーブルの規定^{8),9)}を参考にして、ダクト径の60倍まで小さくした。

外ケーブルの取替えの有無については、取替えが必要となった過去の損傷事例の分析とその対策、取替えを行うとした場合に必要となる材料および構造上の配慮と事前処置、初期建設コスト等を検討、評価した。その結果、過去の損傷事例の原因を含めて取替えを必要とさせる腐食因子、危害要因を排除できる、あるいは十分に配慮した耐久設計を行い、それに基づいて適切な施工を行えば外ケーブルの長期耐久性は十分に確保できると考え、外ケーブルの取替えを考慮しない設計を採用することとした。なお、将来交通事情の変化等に伴う荷重の増大に対してプレストレスの不足を補う必要が出てきた場合に備えて、予備の偏向部(孔)を設置しておくこととした。

なお、車輻振動等により外ケーブルの自励振動が励起されるのを防止するため、振動支間長が10mを超える部分には防振装置を配置した。

(6) 内ケーブルの構造

外ケーブルの使用率を2/3とすることにより、内ケーブルは床版内に直線状配置のものだけとなり、構造が大幅に単純化した。内ケーブルの構造は、配置本数と経済性の関係、支間の途中において突起を設けて中間定着する場合の定着力の過度の集中を避けること、箱桁内の緊張作業の施工性などから12S12.7(SWPR7B)を採用した。なお、定着部背後に生ずる局部応力が継目に悪影響を及ぼさないよう、中間突起定着部とセグメント継目とは十分に離して(80cm)配置した。

(7) 縦方向PC鋼材の配置

本橋では、完成した桁上をクレーンやセグメントを積載したトレーラーが移動して次スパンの架設を行うた

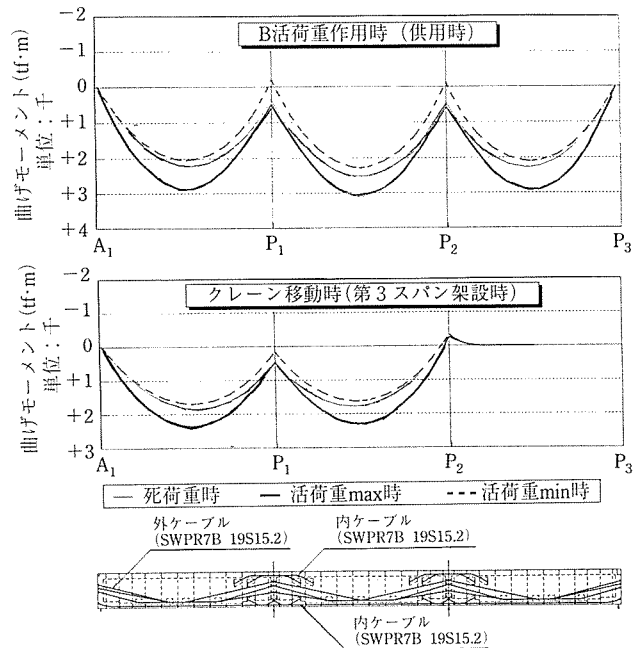


図-11 ケーブル配置と作用モーメント

め、これらの荷重に対する安全性を確保することが要求された。セグメント吊上げ用クレーン(重量115tf)の影響は設計活荷重とほぼ同程度であり、セグメントを積載したトレーラーはその70%程度に相当する。このため縦方向PC鋼材は、単径間のもの2径間にわたるものとを適切に組み合わせて、架設時においても継目部に引張応力が生じないように設計した(図-11)。

(8) 継目構造の設計

セグメントの継目には、せん断力の伝達が単純かつ確実な多段接合キーを採用した。AASHTOの規定⁹⁾においては、この構造は塩害の影響がないという条件ではドライジョイントとすることも認められている。接合キーはウェブの外縁より内側に収めて、継目が外観上直線となるようにした。また、上・下床版にも接合キーを配置して、床版の局部的なせん断力によるズレや損傷を防止するとともに、架設時のガイドとしての役割も期待した(写真-2)。

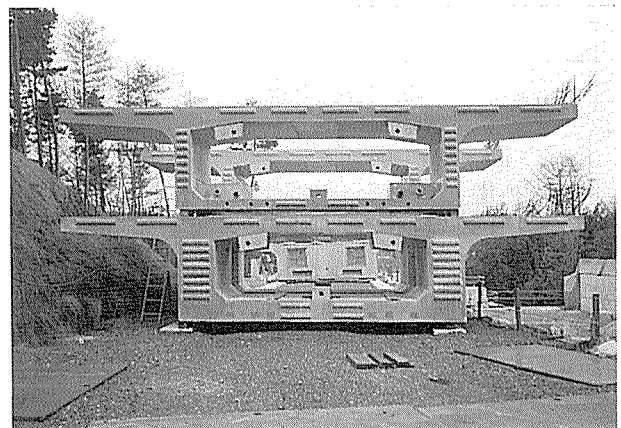


写真-2 接合キーの配置

接合面の処理は、内ケーブルを併用していること、冬期の凍結防止剤散布による塩害を考慮する必要がある地域であること等を考慮して、エポキシ樹脂系接着剤を塗布し、仮設 PC 鋼材により硬化するまで継目に約 3 kgf/cm² の圧縮応力を与える方式とした。

ウェブの接合キーのせん断に対する設計は、終局荷重作用時におけるせん断応力が 20 kgf/cm² 以内であることを照査することに加えて、継目に作用しているプレストレス力の垂直成分を考慮したせん断伝達耐力の評価式¹⁰⁾により、製作段階で接合キーが損傷した場合の安全性の評価・確認も行った。

5. セグメントのジオメトリコントロール (形状管理) システム

セグメントの製作方式はショートライン・マッチキャスト方式を採用することとした。この製作方式は、セグメント 1 個分の定置式型枠と先行して製作した隣接(旧)セグメントの端面を利用して、(仮設する順序に従って)製作していくもので、設備や製作ヤードがコンパクトで済み、経済的となる。また、旧セグメントの据付け方次第で、複雑な平面・縦断線形を有する橋桁のセグメントも製作可能で、最小半径 200 m の事例も報告されている。このショートライン方式では、曲線桁のセグメントを新・旧 2 個のセグメントの相対的な座標関係により製作するため、その形状管理が極めて重要となる。製作誤差は放置すると距離に比例して増大するので、各セグメントの製作誤差はその次に製作する新セグメントで設計線形に戻す補正操作を確実にを行い、誤差の累積を防止しなければならない^{11),12)}。

これらのセグメントの形状管理は、セグメントの継目上に測点を設けてその座標を測定することにより行うが、座標計算とデータ管理に多くの時間と労力を要する。また、測定データの読取りや伝達、および座標計算での人為的ミスが誤差の拡大につながる。

これらの煩雑なセグメント形状管理を正確かつ迅速に行うために、高精度座標測量器とコンピュータをオンラ

インで結んだジオメトリコントロールシステムを開発した(図-12)。同システムではセグメント製作時のすべての形状データを保存しておき、架設段階においてこれから架設する部分の出来形(線形)の予測・確認を行う機能も合わせて構築した。

大和高架橋では上記システムの適用により、セグメントの線形管理を高精度に行うことができることを最大限に生かして、3 径間 90 m を調整目地を設けずすべてプレキャスト部材で構築し、現場作業を最小化して一層の省力化、急速施工を目指した。その結果、最終に据え付けた 37 個目の支点セグメントの位置のズレは、高さ方向 20 mm、橋軸方向 19 mm、橋軸直角方向 22 mm であり、開発システムの適用性およびセグメント製作・架設時の施工管理が適切であったことが証明された。

6. あとがき

大和高架橋において実施したプレキャストセグメント工法による中スパン橋のスパン・バイ・スパン架設に関して、設計にかかわる技術検討を中心に報告した。

本橋での施工を通して、プレキャストセグメント工法に外ケーブルを積極的に採用することは、構造の合理化とともに鋼材や型枠の組立て作業の施工性向上に極めて有効であることを確認した。また、施工サイクルのスピードアップを図るうえで、設計面において構造の単純化、標準化はもとより、細部に至るまできめの細かい配慮が重要であることを強く認識した。また、設計方法の妥当性および橋桁の挙動を確認するために実施した各種の計測については、別の機会に報告を予定している。

新しい架設技術の適用結果は、工事期間が従来工法の約 2/3 まで短縮され、工事の平準化、熟練労働者の削減などの効果が得られた。さらに、現場での高所作業が削減されることによる安全性向上や、品質の向上などの付加的効果も認められた。経済性に関しては、工事費に占める人件費が大幅改善されたものの、全体工事費を削減するまでには至らなかった。今回得られた貴重な経験・実績をもとに、架設サイクルのスピードアップや設備・

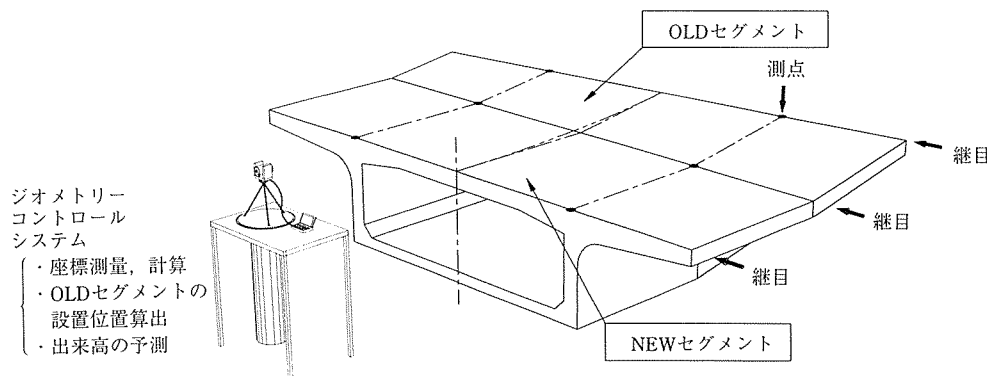


図-12 セグメントの形状管理

◇設計報告◇

機械の合理化を進め、また近接する橋梁群の設計を標準化して複数の橋梁をまとめて建設する等の種々の創意工夫を重ねることで経済効果も上がり、工事規模の小さい橋梁においても適用性の確保は可能と考えられ、本技術の普及・発展が期待される。

最後に研究段階から試験施工まで、終始貴重なご指導・ご助言を戴きました JH 本社構造技術部 風間 徹 部長（当時：広島建設局建設部長）、JH 南京都工事事務所 室井 智文 所長（当時：広島建設局建設部構造技術課長）、ならびに関係各位に深く謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 岡村秀樹, 宇梶賢一：オールプレキャストによる PC 3 径間連続箱桁橋の架設, 土木学会誌 Vol. 81, No. 6, pp. 18~21, 1996. 6
- 2) 米国 PC セグメント橋調査団(団長：風間 徹)：米国における PC プレキャストセグメント橋の現状, (社)プレストレスト・コンクリート建設業協会, 1993. 3
- 3) (財)高速道路技術センター：PC プレキャストセグメント工法施工事例集, 1992. 12
- 4) (社)プレストレスト・コンクリート建設業協会：PC 道路橋計画マニュアル, 1989. 11
- 5) (財)高速道路調査会 21 世紀の橋梁技術検討小委員会：橋梁の単純化に関する調査検討報告書, 1993. 10
- 6) (社)プレストレスト・コンクリート建設業協会：PC 橋の新しい構造事例に関する研究報告書－外ケーブルの有用性と適用に関する調査検討, 1993. 3
- 7) R.J. Beaupre, L.C. Powell, J.E. Breen, and M.K. Kreger : Deviator Behavior and Design for Externally Post-Tensioned Bridges, External Prestressing in Bridges, ACI, SP 120, 1990
- 8) SETRA : Precontrainte Exterieur (External Prestressing), 1990. 1
- 9) AASHTO : Guide Specifications for Design and Construction of Segmental Concrete Bridges, 1989
- 10) 土木学会コンクリート委員会, コンクリート標準示方書改訂小委員会：RC 部会報告書, 1993. 12
- 11) W. Podolny, J.M. Muller : Construction and Design of Prestressed Concrete Segmental Bridges, John Wiley and Sons, New York, 1982
- 12) A. Moreton : The Three Dimensional Geometry Control of Segmental Bridges, Persons Brinckerhoff 社技術資料, 1993. 3

【1996 年 10 月 11 日現在】