

北米プレキャスト事情

品川 清和*

1. はじめに

近年わが国では、プレキャストセグメントを用いたコンクリート構造物の施工実績が増えてきている。これは施工の省力化・合理化という問題に対する一つの解答として、プレキャストセグメント工法が注目されてきたからである。また施工実績の増加にともなって、技術資料も整備されてきている。

ヨーロッパや北米などでは比較的早い時期からプレキャストセグメント工法が用いられ、工事の省力化、合理化が追求されてきた。その結果、現在では橋梁に限らず種々のコンクリート構造物にプレキャストセグメントが用いられ、わが国に比べて多くの施工実績がある。

このような欧米諸国のプレキャストセグメント工法に関する研究および工事報告には、わが国でプレキャストコンクリート構造物の設計・施工に携わる技術者にとって参考となる技術資料が数多くある。ここに、主として北米の技術資料から幾つかをとりまとめて報告する。

2. 北米でのプレキャストコンクリート橋の発展¹⁾

アメリカでは、1949年にテネシー州のマジソンカウンティでPC橋が架設されたのがその始まり^{2),3)}である。この橋は工場製作によるブロックを、ポストテンションによって連結した桁橋である。

50年代から60年代の前半にかけては、工場生産のプレテンション桁による橋梁の施工が主流になった。これにともなってAASHTO-PCIによって標準設計が進められ、おおよそ支間30mまでの桁が標準化された。当時路上輸送に対する制限から、運搬可能な最大桁長は約37mであった。

その後60年代の中頃になると、橋の長支間化の傾向が強まってきた。これに応えるため、PCI-PCAの共同研究⁴⁾により約24mまでのプレキャスト標準桁を場所打ちコンクリートとポストテンションングによって接合する工法が考案され、単純桁の場合は支間長約43

表-1 北米での代表的なプレキャストセグメント橋の施工実績

橋名	架設場所	支間割(m)	架設方法	施工年度
リーブル川橋	ケベック州(カナダ)	39.6+79.2+39.6	片持ち張出し方法	1967
ベアー川橋	ノバスコシア州(カナダ)	62.1+6@80.77+62.1	片持ち張出し工法	1972
JFKメモリアル歩道橋	テキサス州	30.5+61.0+30.5	片持ち張出し工法	1973
マスコット川橋	インディアナ州	29.0+58.0+29.0	片持ち張出し工法	1975
シュガークリーク橋	インディアナ州	27.6+55.0+27.6	片持ち張出し工法	1976
ペイルバス橋他4橋	コロラド州	40.8+61.0+40.8他	片持ち張出し工法	1977
ターキーランスタイトパーク橋	インディアナ州	54.9+54.9	片持ち張出し工法	1977
パスコーケネウィック斜張橋	ワシントン州	124.0+299.0+124.0	片持ち張出し工法	1978
ワバッシュ川橋	インディアナ州	28.5+4@57.0+28.5	押出し工法	1978
キシュウォーキー川橋	イリノイ州	51.8+3@76.2+51.8	押出し工法	1979
アイリントンアベニュー橋	オンタリオ州(カナダ)	2@49.0+61.0+5@83.0	押出し工法	1979
ケンタッキー川橋	ケンタッキー州	69.6+97.5+69.6	片持ち張出し工法	1979
ロングキー橋	フロリダ州	34.4+101@36.0+34.4	支間一括施工	1981
セブンマイル橋	フロリダ州	264@40.5	支間一括施工	1982
リンコーブ橋	ノースカロライナ州	30.0+49.7+4@54.9+49.7+30.0	片押し張出し工法	1983
サンシャインスカイウェイ斜張橋	フロリダ州	164.7+366.0+164.7	片持ち張出し工法	1987

* Kiyokazu SHINAGAWA : ピーシー橋梁(株) 技術部

mまで、連続桁の場合は支間長約49mまで施工可能となった。上記方法によれば標準桁を用いて支間60m級の橋梁の施工も可能であったが、あまり普及はしなかった。

代わって支間の増大にともなって、場所打ちコンクリート連続桁橋の施工が増加し、支保工によって支間90m級の橋梁が施工されるようになった。さらに片持ち張出し架設工法が北米に紹介され、1964年、カナダのケベック州において、セントアンドレ橋が施工された。

3年後の1967年、同じケベック州において、今度はプレキャストセグメントによる3径間連続形式のリーブ川橋梁が施工された。アメリカ国内では、1970年代に入ってやっとプレキャストセグメント橋が施工されるようになった。その先駆けとなったのは、1973年にテキサス州に施工されたJFKメモリアル歩道橋である。

北米でのその後の代表的なプレキャストセグメントの橋を表-1^{1),5)}に示す。

3. アメリカでの橋梁の施工実績から

1990年度のアメリカ・カナダのプレストレストコンクリートの総売上は42億ドル⁶⁾、すなわち約5300億円に上る。そのうち、プレテンションは27億ドル(約3400億円)、ポストテンションは15億ドル(約1900億円)になる。総売上のうち、橋梁部門の売上高は13億ドル(約1600億円)となる。

3.1 NBI データベース⁷⁾

アメリカでは、公道に架設された橋梁はすべて登録され、定期的な検査を受けることが法律で義務づけられている。その際、橋梁の状態によって0~9の10段階に分類され、上・下部工の検査結果が4以下の場合、その橋梁は構造上問題ありと判定される。表-2に橋の劣化状態

表-2 橋の劣化状態判定表

評価	橋の状態
4	断面欠損、剝離等が認められる状態
3	さらに劣化の進んだ状態
2	危険な状態
1	破壊直前の状態
0	破壊状態

態による評価分類を示す。その後、各橋梁データは共通の書式に従って連邦道路局に送られ、データベースとしてNBI (National Bridge Inventory) に蓄えられる。NBIには、現在約570000件以上の橋梁データが保管され、その中に1950年から1989年の間に施工されたものとして、約300000件の橋梁データが含まれている。

3.2 アメリカでの傾向

表-3に1950年から1989年にかけてのアメリカでの橋梁の架設件数⁷⁾を、また図-1に1960年から1988年までの同国での橋梁建設費⁶⁾の推移を示す。表-3の合計に着目すると、アメリカでの橋梁の架設総数は1960年代の前半をピークとし、1980年代の後半には、架設総数はピーク時の半分強にまで減少してきている。しかし、建設費のほうはインフレの影響もあり年々増加する

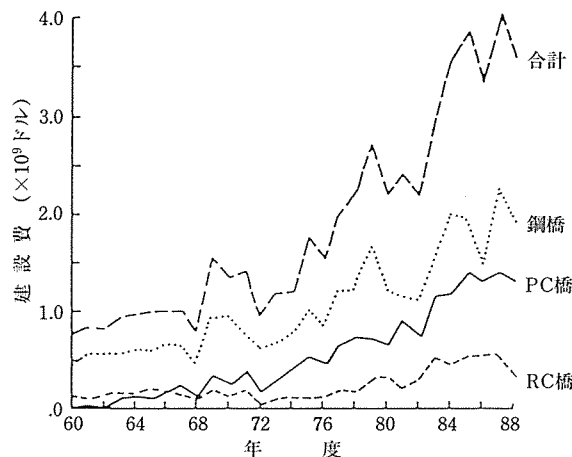


図-1 アメリカでの橋梁建設費⁶⁾

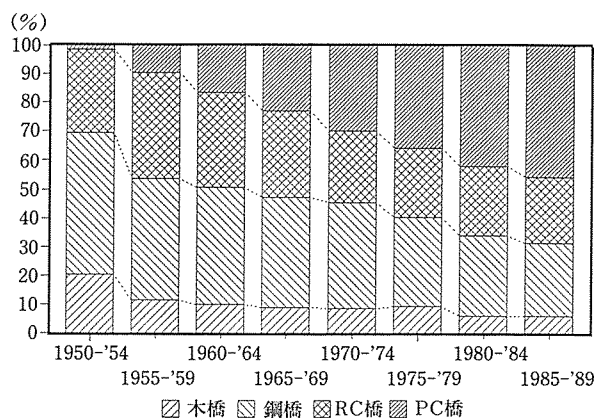


図-2 アメリカでの橋梁架設の割合 (柱状グラフ)

表-3 アメリカでの橋梁架設件数

	1950-'54	1955-'59	1960-'64	1965-'69	1970-'74	1975-'79	1980-'84	1985-'89
木橋	6 874	4 740	5 307	4 471	3 501	3 017	1 670	1 576
鋼橋	16 789	17 673	21 277	19 166	15 299	10 211	7 844	6 927
RC橋	9 907	15 441	17 192	14 993	10 198	7 921	6 716	6 156
PC橋	608	4 054	8 802	11 358	12 275	11 733	11 798	12 364
合計	34 178	41 908	52 578	49 990	41 273	32 882	28 028	27 023

◇報文◇

傾向にある。

図-3は表-2の各年度間における種類別の架設件数を比率に直したものである。図-2に着目すると、1950年の初期に50%のシェアがあった鋼橋は、1980年後半には約25%程度になっている。一方PC橋は、1950年前半には全体の2%程度のシェアであったものが、1980年代後半には約半数を占めるに至っている。

支間に着目した時の施工実績を、1970~1979年の10年間と1980~1989年の10年間に分けて、それぞれ図-3と図-4に示す。1980年代になると支間10~30mにかけて鋼橋の架設件数が減り、その分支間10m前後のPC橋の架設件数が増えたことがわかる。しかし、支間が30mを超えるような比較的長支間の橋梁においては、依然鋼橋の実績が上回っていることがわかる。

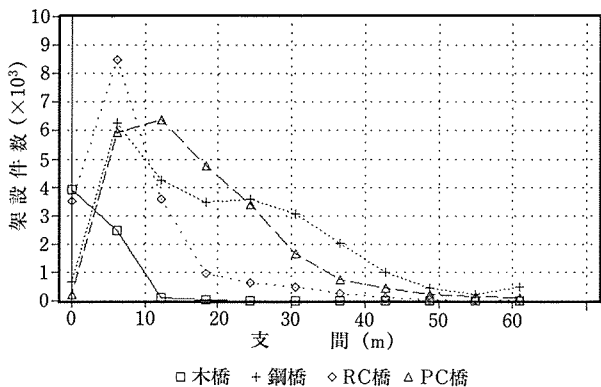


図-3 アメリカでの支間別橋梁架設件数(1970~1979年)

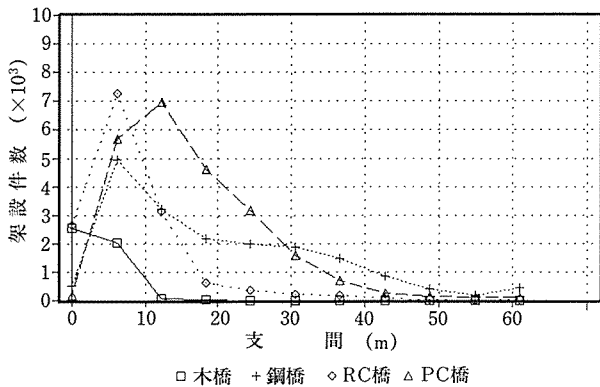


図-4 アメリカでの支間別橋梁架設件数(1980~1989年)

4. アメリカ・カナダのプレキャストコンクリート橋

4.1 リン・コーブ高架橋^{8),9)} (Linn Cove Viaduct)

〔構造諸元〕

構造形式：8径間連続PC箱桁橋

支間：30.0+49.7+4@54.9+49.7+30.0 m

全幅：11.430 m

工費：US\$ 7 900 000-

完成年度：1983年

設計：Figg and Muller Engineers, Inc.

施工：Jasper Construction Company

ノースカロライナ州、グランドファザーマウンテンの麓に架設されたリン・コーブ高架橋には2つの大きな特徴がある。一つは片押し張出し架設工法によって上部工、下部工ともに張出し架設中の上部工先端から施工を行ったことであり、他の一つは寒中施工によって工期を短縮したことである。以下にその概要を述べる。

4.1.1 片押し張出し架設工法

本橋梁の施工は、自然保護に対する配慮のため下部工への直接アクセスが困難であった。したがって片押し張出し架設工法 (Progressive Placing Method) によって上部工、下部工ともに張出し架設中の上部工先端から施工を行った。片押し張出し工法の概念を図-5に示す。

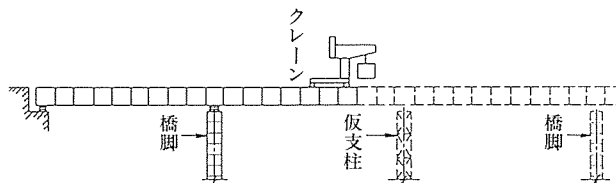
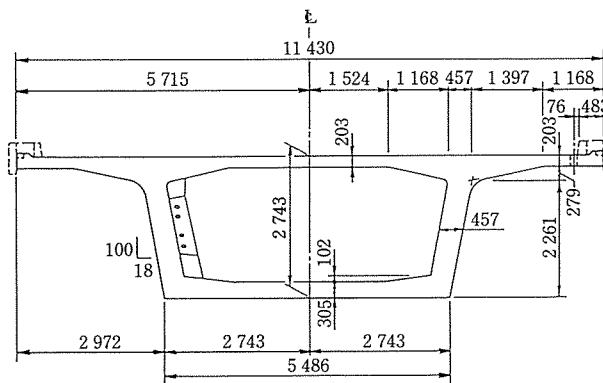


図-5 片押し張出し架設工法

この工法は、片方の橋台からもう一方の橋台に向かって、順次張出し架設していく施工法である。完成部分先端のクレーンから、桁セグメントおよび橋脚セグメントを吊り下げ接合しながら、橋体および橋脚を構築してゆくものである。今回のプレキャストセグメントに使用されたコンクリートの設計基準強度は、上部工、下部工ともに約400 kgf/cm²であった。

(1) 上部工

上部橋体には、全部で153個のセグメントが使われたが、平面線形がS字形のため、高精度のセグメント製作が要求された。標準セグメント長は2.6 m、橋脚上のセグメント長は1.5 mである。この工法は張出し施工



定着突起断面 標準断面

図-6 標準的なセグメントの断面

のため、支点上の下床版に高い圧縮応力が働く。さらに、せん断とねじりの組合せにも対処するために、下床版厚が通常より厚い305 mmとなっている。図-6に標準的なセグメントの断面を示す。

(2) 下部工

下部工の施工手順は、まず、直径6.1 m、厚さ1.5 mのフーチングを、無筋の均しコンクリートの基礎に場所打ちにて施工し、さらに岩盤に直径229 mmの棒鋼を使って固定した。次に、場所打ちのフーチング上にマッチキャスト方式で製作された中空断面の橋脚セグメントが据え付けられた。接合部には防水ためエポキシ系接着剤が使われ、ネジ式の鋼棒にて緊張連結された。最後にPC鋼より線によって橋脚上部からフーチングまでを緊張一体化した。

4.1.2 寒中施工

本橋では、工期の関係から寒中施工を余儀なくされることとなった。しかし、接合部に使われたエポキシ系接着剤は低温では硬化しないという材料特性を持っているため、施工時に接合部を暖める方法が採用された。本工法の実橋への採用に先立ち、接合部を暖める方法による接着剤硬化に対する有効性を確認する試験が行われた。上床版下部からウェブおよび下床版にかけては、加熱用の型枠がつくられ、プロパンを使用して加熱された。上床版上部は、当初電熱マットによって加熱されたが、取扱いと耐久性の面から、電熱球を取り付けた加熱箱に交換された。

接合部の加熱で留意する点は温度管理である。外気温との差がありすぎた場合、接合部に变形やひびわれを生じる可能性があるので注意を要する。

4.2 スカイブリッジ (Sky Bridge)^{10),11)}

〔構造諸元〕

構造形式：3径間連続PC斜張橋

支 間：138.000+340.000+138.000 m

全 幅：12.560 m

工 費：CND \$ 28 006 000-

工 期：1986年6月～1988年9月

設 計：Bush Bohlman-Reid Crowther JV

施 工：Kerkhoff-Hyundai JV

1990年に供用開始され、カナダのバンクーバー市と近郊諸都市を結ぶ新交通システムのガイドウェイとして、フレイザー川を跨ぐ橋梁がスカイブリッジである。クリーム色の主桁と塔頂部が赤いダイヤモンド型の主塔が印象的で、その姿は遠くからでも人目を引く。主桁は重量約100 tのプレキャストセグメント106個より成っており、片持ち張出し架設工法により施工された。架設時の様子を写真-1に示す。

セグメントは、2つのベースを使ってマッチキャスト方式により製作された(写真-2)。主桁には、基準強度

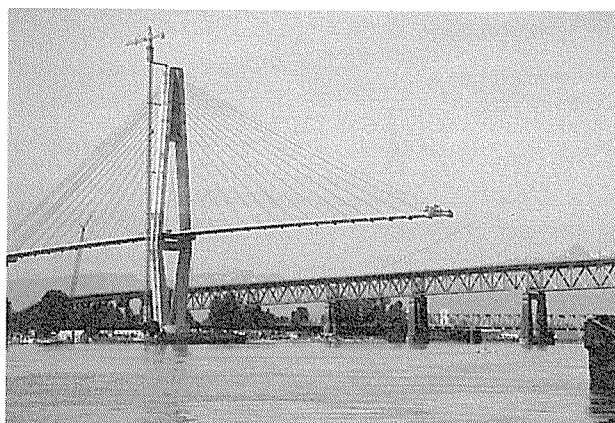


写真-1 架設時

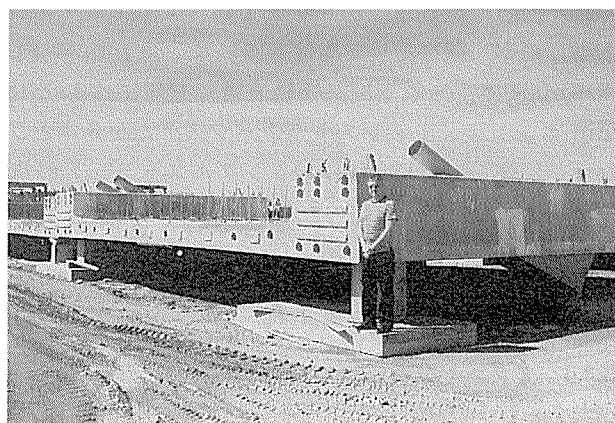


写真-2 主桁セグメント

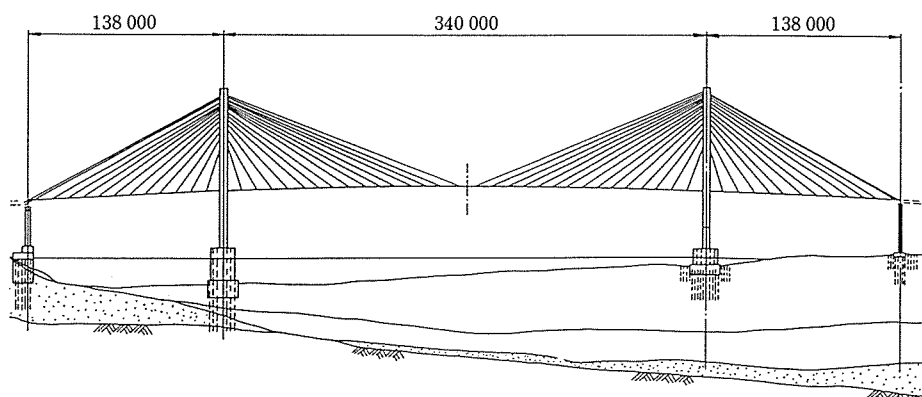


図-7 全体一般図

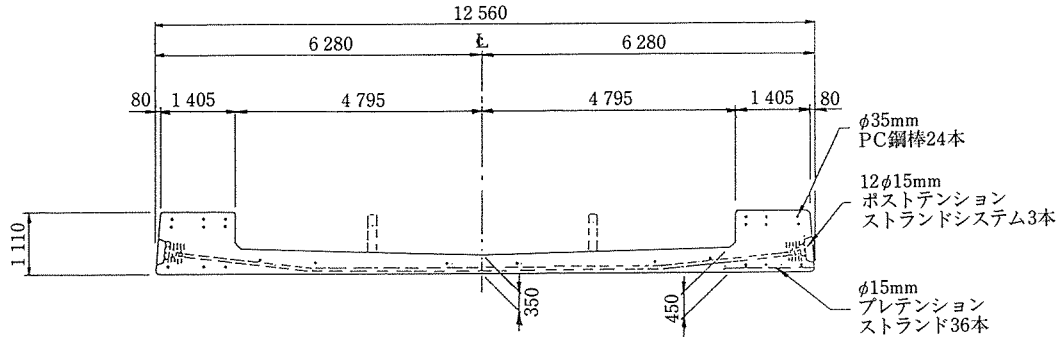


図-8 主桁セグメント断面図

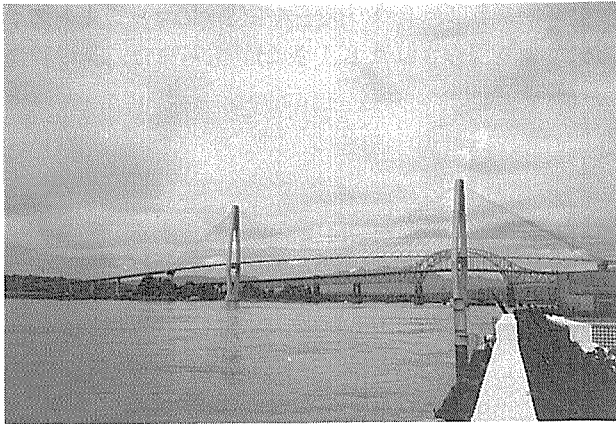


写真-3 完成時

約 340 kgf/cm² のコンクリートがおよそ 4 000 m³ 使用され、鉄筋の総重量は約 500 tf であった。1 セグメント当りの PC 鋼材として橋軸方向には φ35 mm の PC 鋼棒が 24 本、床版支間（橋軸直角）方向には 12 φ15 mm ポストテンションストランドシステムが 3 本とプレテンションで φ15 mm のシングルストランドが 36 本使用された。PC 鋼材の配置状況を図-8 に、また完成時の全景を写真-3 に示す。

5. 設計・施工上の留意点

5.1 セグメント製作¹²⁾

セグメントの設計にあたっては、セグメント製作が簡素化されるような断面を選択すべきである。プレキャストセグメント工法では、材料の最小を図るより、セグメントの生産性を優先させた方が、結果として全体の工費が安くなる場合が多い。

プレキャストポストテンションセグメント施工の手引き (Recommended Practice for Precast Post-Tensioned Segmental Construction)¹²⁾ より、セグメント製作において、生産性の向上のための留意点を以下に示す。

- 1) セグメント長を一定にし、各セグメントはストレートに製作する。
- 2) せん断キーなどの位置、形状を一定にする。

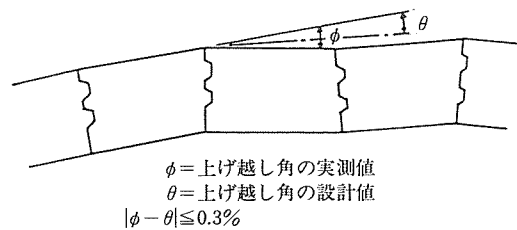
- 3) 上床版厚、ウェブ厚、ハンチ形状を一定にする。
- 4) 桁高変化の場合にはウェブを垂直にし、下床版幅が変化するのを避ける。
- 5) 内部定着突起などの位置、形状をパターン化し、内型枠をできるだけ標準化する。
- 6) 横桁の設置箇所に留意する。

5.2 製作時・架設時の許容誤差¹²⁾

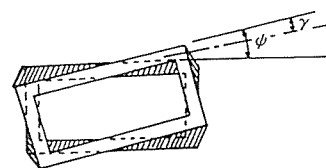
プレキャストセグメント工法は、多数のセグメントを組み合わせるため、構造物の出来、不出来はセグメントの製作精度によるところが多い。したがって、良い構造物を作るためには、セグメントの製作精度を高める必要がある。表-4 に前述のプレキャストポストテンションセグメント施工の手引きよりセグメント出来形の許容誤差を示す。

表-4 セグメント出来形許容誤差

項目	許容誤差
ウェブ厚	±9.5 mm
下床版厚	0~+12.7 mm
上床版厚	±6.3 mm
セグメント全幅	±5.2 mm/m
横桁厚	±12.7 mm
シース位置	±3.2 mm
せん断キー位置	±6.3 mm



ϕ = 上げ越し角の実測値
 θ = 上げ越し角の設計値
 $|\phi - \theta| \leq 0.3\%$



ϕ = ねじれ角の実測値
 γ = ねじれ角の設計値
 $|\phi - \gamma| \leq 0.1\%$

図-9 架設時の許容誤差

架設時においては、特に橋脚上のセグメントを正確に据え付けなければならない。架設時の許容誤差として、隣合うセグメントの変位差の最大値は6 mm 以下、設計勾配からの偏心量は、角度にして0.3 % 以下が望ましい。セグメントのねじれ角の許容誤差は0.1 % 以下が望ましい(図-9)。

5.3 線形管理¹³⁾

プレキャストセグメント工法では、計画された線形要素を満足するために、セグメント製作時に平面線形、縦断線形ならびに横断勾配に対する調節を行う。ここではショートラインによるマッチキャスト方式のセグメント製作における線形管理を紹介する。

5.3.1 縦断線形および平面線形

ショートライン方式では、縦断勾配の変化に対して通常、図-10のような方法によって対処する。すなわち型枠に角度をつけて調整するのではなく、旧セグメントの据付け角度、位置によって必要な上げ越し量を得る。同様にして、平面線形にも対処することができる。ここで重要なことは、高精度の測量機器を用いて新旧セグメントの相対的な位置関係を正確に計測することである。通常

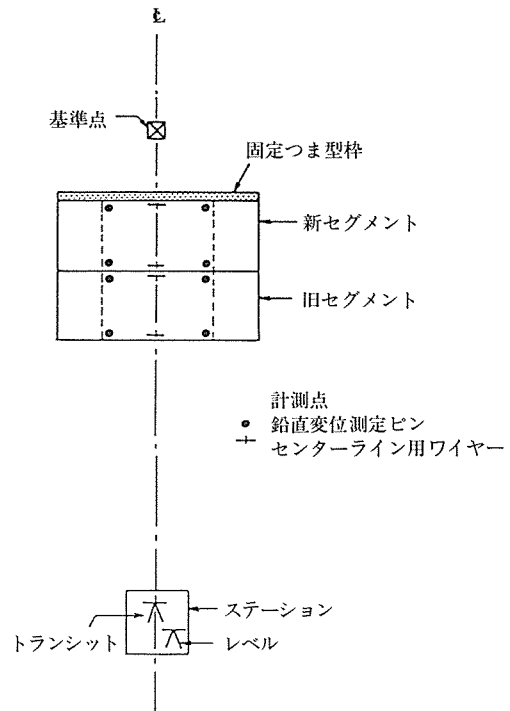
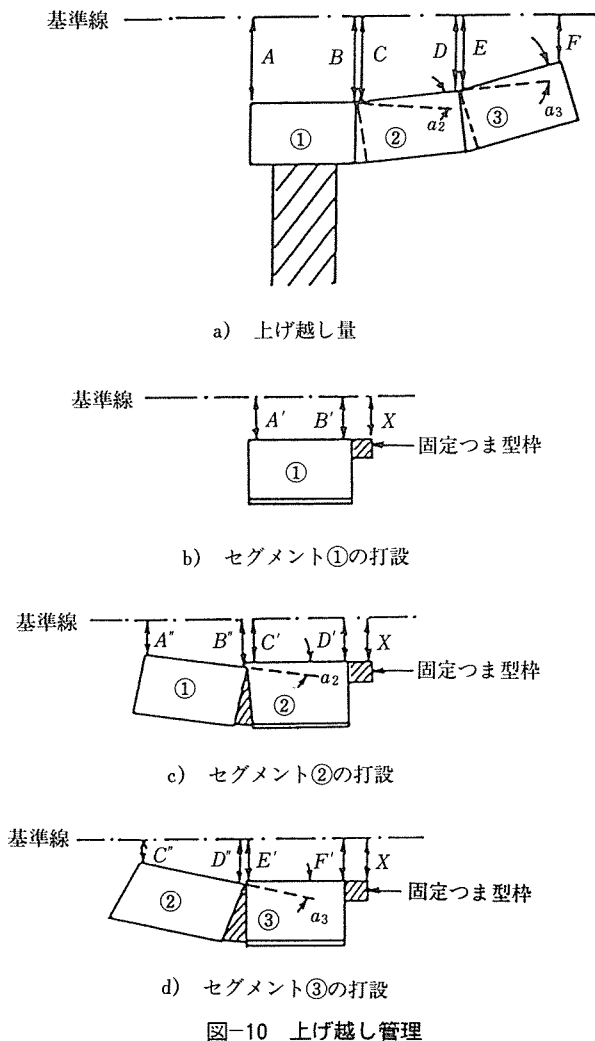


図-11 計測システムの例

計測器の最小目盛りは0.8~1.0 mm、線形が複雑になった場合の最小目盛りは0.3 mm 程度が望ましい¹³⁾。標準的な計測システムを図-11に示す。ここでは鉛直方向の変位を測定するピンがウェブ上の上床版に4か所、センターラインを示すワイヤーがセグメントの前面と後面に1か所ずつ設置されている。

5.3.2 横断勾配

横断勾配が一定の場合には、型枠を横断勾配なりに傾けることによって対処する。横断勾配が変化する場合には、セグメントの前面と後面のねじれ角が異なるため、型枠も横断勾配の変化に合わせて変形させる必要がある(図-12)。

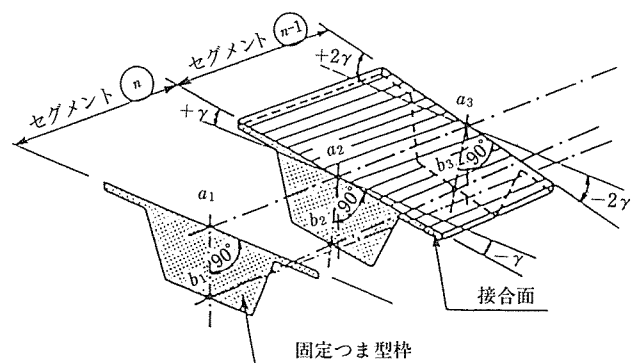


図-12 横断勾配の変化するセグメント

5.4 架設時の補正法^{12),14)}

何らかの理由により、架設時にたわみ量などの補正が必要となった場合には、その補正量に応じていくつかの

◇報文◇

調整方法がある。補正量が少ない場合には、架設中の張出し桁端部にカウンターウェイトを載せて調整することがある。また接合面の上下床版のウェブ付近に、厚さ2~3 mmで、縦横200×300 mm程度のメッシュ状の金属製シムを咬ませて調整する場合もある。さらに補正量が多い時には、セグメント間に50 mm程度のモルタルウェットジョイントを設けて調整する場合がある。補正に当たってはそれぞれ十分な検討が必要である。

6. おわりに

北米では、1970年を境にプレキャストセグメント工法による橋梁の施工実績が急激に増加した。わが国でも、今後プレキャストセグメント工法による橋梁が、相当数施工されるものと思われる。本稿がこの種の工事において少しでも参考になれば幸いである。

参 考 文 献

- 1) Podolny, W. Jr. : An Overview of Precast Prestressed Segmental Bridges, PCI Journal, Vol. 24, No. 1, January-February 1979, pp. 56-87.
- 2) Zollman, C.C. : Reflections on the Beginnings of Prestressed Concrete in America-Part 1 : Magnel's Impact on the Advent of Prestressed Concrete ; Part 2 : Dynamic American Engineers Sustain Magnel's Momentum, PCI Journal, Vol. 23, No. 3 and 4, May-June and July-August 1978, pp. 22-48 and pp. 30-67.
- 3) Bryan, R. : Prestressed Concrete Innovations in Tennessee, Vol. 24, No. 1, January-February 1979, pp. 14-31.
- 4) Prestressed Concrete for Long Span Bridges, Prestressed Concrete Institute, Chicago, Illinois, 1968.
- 5) Post-Tensioning Institute : Post-Tensioning Manual, Fifth Edition, 1990, pp. 31-33.
- 6) Breen, J.E. : Prestressed Concrete : The State of the Art in North America, PCI Journal, Vol. 35, No. 6, November-December 1990, pp. 62-67.
- 7) Dunker, K.F., and Rabbat, B.G. : Performance of Prestressed Concrete Highway Bridges in the United States - The First 40 Years, PCI Journal, Vol. 37, No. 3, May-June 1992, pp. 48-64.
- 8) Muller, J.M., and Barker, J.M. : Joint Heating Allows Winter Construction on Linn Cove Viaduct, PCI Journal, Vol. 27, No. 5, September-October 1982, pp. 120-131.
- 9) Muller, J.M., and Barker, J.M. : Design and Construction of Linn Cove Viaduct, PCI Journal, Vol. 30, No. 5, September-October 1985, pp. 38-53.
- 10) Skytrain Bridge Vancouver, Con-Force Structures Limited Internal Report, September 1988.
- 11) Alrt Fraser River Crossing "Skybridge" Fact Sheet, Con-Force Structures Limited Internal Report, May 1988.
- 12) Joint PCI-PTI Committee on Segmental Construction : Recommended Practice for Precast Post-Tensioned Segmental Construction, PCI Journal, Vol. 27, No. 1, January-February 1982, pp. 14-61.
- 13) Breen, J.E. : Controlling Twist in Precast Segmental Concrete Bridges, PCI Journal, Vol. 30, No. 4, July-August 1985, pp. 86-111.
- 14) Harwood, A.C. : I-205 Columbia River Bridge - Design and Construction Highlights, PCI Journal, Vol. 27, No. 2, March-April 1982, pp. 56-77.

【1992年9月18日受付】

◀刊行物案内▶

PC 定 着 工 法

(1988年版)

体 裁 : B5判 126頁

頒布価格 : 3 300円 (会員特価 3 000円) (送料 350円)

内 容 : PC 定着工法総論, 一般ケーブル (総論, 18工法), 斜張ケーブル (総論, 8工法), シングルストランドケーブル (総論, 8工法), アンボンドケーブル (総論, 7工法), アースアンカーケーブル (総論, 10工法), プレテンション工法総論, PC 定着工法の評定