

# コンクリート工学

## CONCRETE JOURNAL

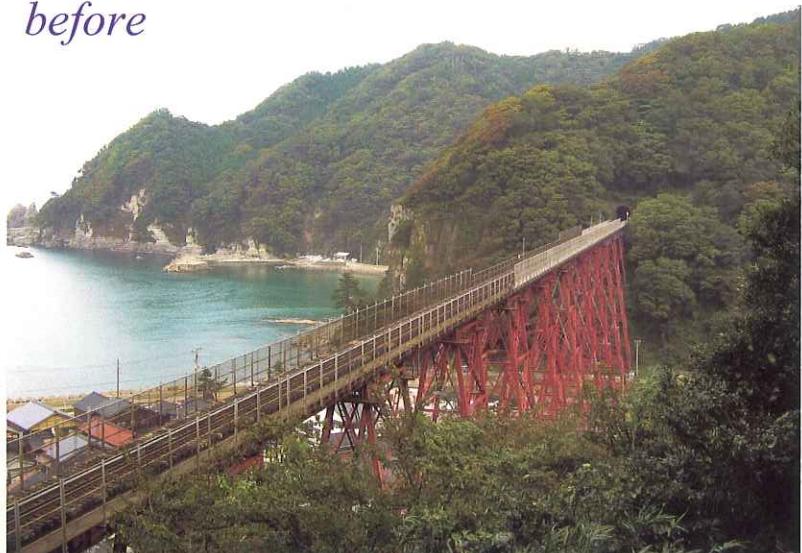
Vol.49 No.3

ISSN 0387-1061

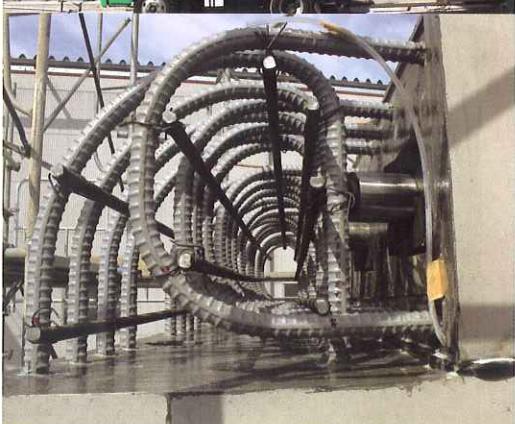
かぶりコンクリートの透気性に関する竣工検査—スイスにおける指針—／日本鉄筋継手協会「鉄筋継手工事標準仕様書」改訂の要点／ループ継手構造によるプレキャストコンクリート製斜角大型ボックスカルバートの開発／コンクリートの浸水養生システム—型枠取りはずし後の給水養生工法の実用化と効果—／日交通量10万台区間におけるRC床版取替工事—九州自動車道・向佐野橋—／現場練りコンクリートを用いた大規模免震建築物の施工 ...他

2011  
3

*before*



*after*



# ループ継手構造によるプレキャストコンクリート製 斜角大型ボックスカルバートの開発

佐川康貴<sup>\*1</sup>・片山 強<sup>\*2</sup>・堤 俊人<sup>\*3</sup>・松下博通<sup>\*4</sup>

**概要** 内空幅5m以上の大型のボックスカルバート（以下、ボックス）は、現場の多くが斜角であるが、経済性の観点から場所打ちコンクリート施工が一般的であり、工期短縮、品質安定性などの観点からプレキャスト製品化が望まれている。筆者らは、斜角に対応した経済的なプレキャストボックスの開発にあたって、ボックスを頂版部材と側壁部材にセグメント化し、頂版と側壁の接合隅角部にループ継手構造を適用して、剛接合として一体化することを試みた。隅角部ループ継手構造の基礎実験を行い、その後実物大供試体を作製し、施工性や構造性能の検証試験を行い、想定どおりの施工が可能であること、一体型と同等の構造性能を有していること等を確認した。また、大型のボックスの断面力の算出方法は、弾性床上のラーメン構造として計算する方法が適切であることも明らかとなった。

キーワード：ループ継手、斜角、ハーフプレキャスト工法、ボックスカルバート、セグメント

## 1. はじめに

道路や小河川などで施工される内空幅5m以上の大型のボックスカルバート（以下、ボックス）は、道路または水路の条件などにより、現場の多くが図-1のような斜角のボックスである。ボックスの用途は、道路ではアンダーパスを設けるために設置され、小河川では橋りょうの代わりとして使用される。ボックスの工法は、①場所打ちコンクリートによるもの、②すべての部材をプレキャストコンクリート製品（以下、プレキャスト製品）により組み立てたオールプレキャスト工法によるもの、③場所打ちコンクリートとプレキャスト製品を現場で組み合わせるハーフプレキャスト工法によるものの大きく

3つに分けられる。各工法の特徴を表-1に示す。工法はスパン長、工期、経済性、施工性などを総合的に勘案して決定されるが、スパン5m以上の斜角の条件では、通

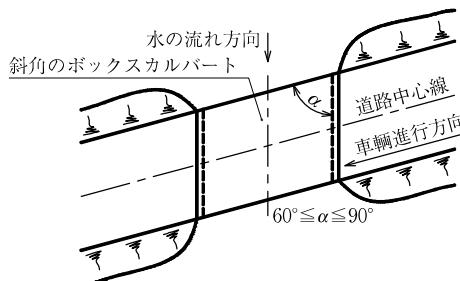
図-1 斜角のボックスカルバートの形状<sup>1)</sup>

表-1 各ボックスカルバート工の特徴

	場所打ちコンクリート工法	オールプレキャスト工法 (上下2分割構造)	ハーフプレキャスト工法 (本報のボックス)
断面図			
構造形式	一般的な一体型場所打ち鉄筋コンクリート構造	上下分割した部材を側壁に通したPC鋼材を緊張することで一体化	頂版の隅角部、目地部および底版部に場所打ちコンクリートを打設して一体化
施工性	すべて現場での施工となり、特に品質管理や製作精度には細心の注意が必要。 工期は天候等の影響を受けやすい。	すべてプレキャスト部材を使用し、部材連結はPC鋼材の緊張工により行うため施工が速い。	プレキャスト部材と場所打ちの併用で、現場作業を大幅に省略化できる。 側壁と頂版をセグメント化した部材であるため、架設重機、運搬等の選択が容易。
工事費*	1.00	1.21	1.09
工期*	1.00	0.54	0.62

\*内空幅8000×内空高4000mm、斜角 $\alpha=75^\circ$ 、活荷重T-25、土被り1.0m、延長20mの条件にて、場所打ちコンクリートを1.00とした場合の各工法の相対比較

\*1 さがわ・やすたか／九州大学大学院 工学研究院 建設デザイン部門 准教授（正会員）

\*2 かたやま・つよし／株ヤマウ 技術本部 開発・設計部（正会員）

\*3 つつみ・としと／株ヤマウ 技術本部 副本部長

\*4 まつした・ひろみち／福岡建設専門学校 校長（正会員）

常に経済性の観点から場所打ちコンクリートが採用される事例が多い。これは、プレキャスト製品を使用する場合、既存型枠を現場の斜角にあわせて改造する必要があり、施工延長が短い場合はその型枠改造費が工事費を高くするためである。また、プレキャスト製品を部材連結するためのPC鋼材による縦締め（緊張）なども工事費を高くする要因である。

一方、工期短縮、施工性、品質安定性などの観点から斜角大型ボックスであってもプレキャスト製品化が望まれる。現状では、プレキャスト製品に使用されたセメント量の全セメント生産量に対する割合は13%程度にとどまっている<sup>2)</sup>、プレキャスト製品の活用がさほど拡大していない。場所打ちコンクリートと経済的に遜色の無い斜角に対応した大型のプレキャストボックスができれば、様々な状況下のもとで、柔軟に選択肢を広げることができる。

このような背景のもと、本報では、工期短縮が図れ、経済的で施工性の良いループ継手構造によるプレキャストコンクリート製斜角大型ボックスカルバートを開発したので、その概要を報告する。なお、ループ継手構造によるプレキャストコンクリート製斜角大型ボックスカルバートをFAボックスと称する。

## 2. 構造概要

FAボックスの構造概要を図-2に示す。図中の寸法は、後述する実物大供試体の静的載荷試験のものである。図-2に示すように、ラーメン構造であるボックスを頂版部、側壁部と底版部に分割し、頂版部と側壁部はプレキャスト製品、底版部は場所打ちコンクリートとしたハーフプレキャスト工法としている。左右にループ筋が突き出した斜角の頂版プレキャストスラブ（写真-1；以下、頂版スラブ）と、斜角の側壁プレキャスト部材（写真-2；以下、側壁）によって構成される。側壁は、ループ筋とハンチ突出筋（つきだしきんと読む）が上側に突き出し、かつ底版主筋が横向きに突き出している。

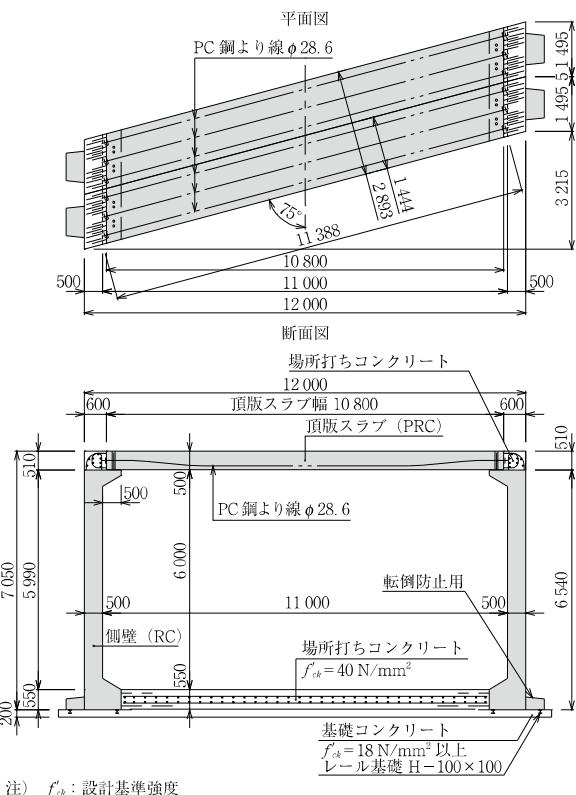


図-2 斜角大型ボックスカルバートの構造概要  
(実物大構造物 静的載荷試験供試体)

頂版スラブと側壁との接合は、隅角部に場所打ちコンクリートを充てんし、図-3に示す隅角部のループ継手構造により、頂版スラブと側壁を一体化させる構造としている。側壁と底版は、側壁より突き出した底版主筋と現場で配する底版主筋を重ね継手構造で配し、底版部に場所打ちコンクリートを打設することにより一体化する。一体性を高めるため、後述する実物大供試体では、隅角部、側壁と底版の打継ぎ面にはエポキシ系打継ぎ用接着剤を使用した。また、頂版スラブは、鉄筋とアンボンドPC鋼材を配し、ポストテンション方式によりあらかじめ工場でプレストレスを導入し、PRC構造として

## Development of Large-scale Precast Concrete Skew Box Culvert with Looped Joint Connection

By Y. Sagawa, T. Katayama, T. Tsutsumi and H. Matsushita

Concrete Journal, Vol.49, No.3, pp.13~20, Mar. 2011

**Synopsis** Usually, many of the large box culverts with over 5m width are skewed, and in-situ concrete is used from the viewpoint of economic efficiency. However, precast concrete products can shorten a period of construction work and keep uniform quality. In this study, an economical precast concrete box culvert which could be applied for skew structures was developed. Top plate and side wall were segmented and both were connected by looped joint connection on the corner. First of all, the element experiment on looped joint connection system was conducted. After that, the full-scale specimen was assembled, and then construction performance and structural performance were investigated. As the results, the box culvert could be assembled as it was expected, and it had equivalent structural performance to the ordinary box culvert using in-situ concrete. Also, in order to calculate stress resultant of large-scale box culvert, the method considering the rigid frame on elastic foundation was preferable.

**Keywords** : looped joint connection, skew, half precast construction method, box culvert, segment

いる。PRC 構造とすることは、長スパンの場合、頂版スラブの自重によるたわみ量とその後のクリープによるたわみ量が無視できなくなるためであり、導入プレストレス力は自重によるたわみ量をゼロに近づけるように決定している。

それぞれのセグメント化された部材をこのような単純な形状、構造にすることにより、課題であった型枠改造費を抑えることができ、かつ  $60\sim90^\circ$ までの角度（図-1に示す $\alpha$ ）に容易に対応可能であり、自由度の高い設計を行うことができるなどのメリットが得られる。

また、敷設時の部材の引寄せは、レバーブロックなどにて行うこととし、さらに隅角部、底版部と写真-3に示すせん断キー<sup>3)</sup>としての役割を果たす頂版スラブ間の目地部に場所打ちコンクリートを打設することにより、縦断方向の一体性も確保できるため、PC 鋼材による縦



写真-1 頂版スラブ (PRC 構造)



写真-2 側壁上部 (左) と下部 (右)

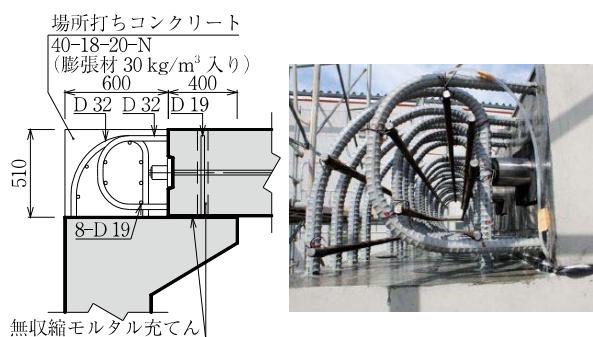


図-3 隅角部のループ継手構造



写真-3 頂版スラブの目地形状 (せん断キー)

締めは不要となる。これにより、従来の大型のボックスカルバート工にて工事費を高くする要因となっていた縦締め緊張工事費の改善が図れる。

### 3. 隅角部ループ継手構造に関する基礎実験

ループ継手構造に関する研究は過去に幾つか行われているが<sup>4)~12)</sup>、いずれも床版同士の水平方向の継手構造として検証が行われていたものであり、ラーメン構造の隅角部のように、直角に交差した部位での継手構造として検討された例は少ない。そこで、まずラーメン構造の隅角部周辺部を模擬した実験供試体を作製し、基礎実験を行い、隅角部へのループ継手構造の適用性を検証した。

#### 3.1 実験概要

作製した実験供試体の一覧を表-2に示す。内空幅5m×内空高3m、土被り1m、活荷重T-25、横断設計（車輌の進行方向はスパン方向）、製品長さ1m、の設計条件によりボックスの部材厚、配筋を決定し、実験供試体は、このボックスの隅角部を実物大で模擬したものである。コンクリートの配合は、後述する実物大供試体で使用したものとほぼ同様の配合である。載荷方法の概略図を図-4、載荷試験状況を写真-4に示す。供試体の奥行き長さは1mで、外圧試験機により幅100mmの帶載荷とした。

#### 3.2 評価方法

表-2の供試体の静的載荷試験を行い、得られた変位やひずみなどのデータを比較することにより、ループ継手構造による供試体（No. 3）が一体型の供試体（No. 2）と同等の性能を有するのか検証した。また、同時に直角の供試体（No. 1）と斜角の供試体（No. 2）の結果を比較し、斜角の影響についても調べることとした。

直角の供試体No. 1については事前に計算を行い、各

表-2 隅角部供試体一覧

No.	1	2	3
種別	一体型	一体型	ループ継手型
斜角度	$90^\circ$	$75^\circ$	$75^\circ$
斜視図			

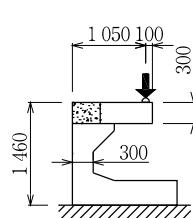


図-4 載荷方法概略図



写真-4 載荷試験状況

載荷段階を以下のように設定した。

- ①ひび割れ発生荷重：無筋の条件でFEM解析した結果、側壁中央のひび割れ発生荷重は80kN程度となる。
- ②設計荷重：前述した設計条件の土圧と活荷重による設計計算時（フレーム計算）の頂版剛域端部の曲げモーメントを再現する荷重は102kNとなる。これを設計荷重と称する。
- ③破壊抵抗荷重：鉄筋降伏時の荷重は295kN、曲げ破壊位置は側壁中央となる。これを破壊抵抗荷重と称する。

### 3.3 実験結果と考察

No.1～No.3の供試体で試験経過状況に大きな差は現れず、設計荷重ではひび割れの発生もなかった。ひび割れ発生荷重と最大荷重について、表-3にまとめた。最大荷重はいずれの供試体も破壊抵抗荷重を上回った。

図-5に頂版先端の荷重-変位関係を示す。ひび割れ発生後の120kN以降は変位量に若干の差が見られるが、線形領域内では差は見られなかった。

荷重-ひずみ関係についても、規格値内および線形領域内ではNo.1～No.3の供試体で大きな差は見られなかつた。一例として、側壁外側ハンチ始点鉄筋の荷重-ひずみ関係を図-6に示す。図-6のひび割れ発生後のひずみは、ループ継手型（No.3）のみ他の供試体に比べ小さくなっている。これは、ループ継手型のみ測定部位

表-3 隅角部供試体のひび割れ発生荷重と最大荷重

供試体 No.	1	2	3
ひび割れ発生荷重 (kN)	130	120	120
最大荷重 (kN)	345	358	346

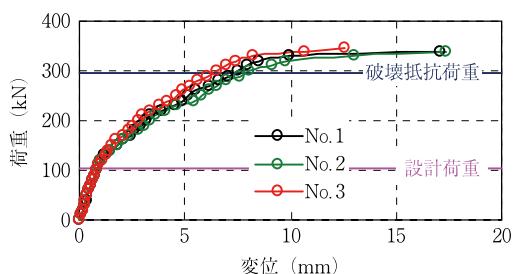


図-5 頂版先端の荷重-変位関係

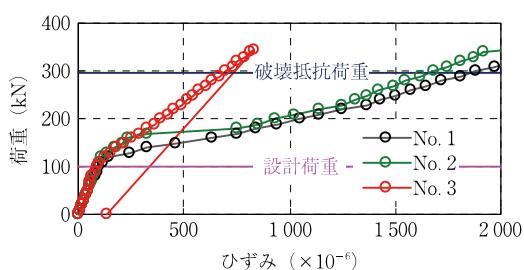


図-6 側壁外側ハンチ始点鉄筋の荷重-ひずみ関係

の鉄筋が重ね継手となっており、鉄筋量が2倍以上配置されていたためと推察される。

以上の結果により、隅角部へのループ継手構造の適用は有効であり、ループ継手構造は一体型と同等の性能、断面耐力を有することが分かった。また斜角75°では斜角の影響はほとんど無いことが分かった。

### 4. 実物大供試体による性能確認試験

实物大供試体を作製後、組立施工試験を行い、その後、实物大供試体の静的載荷試験を行った。本報では、これらの検証結果の概要について報告する。

#### 4.1 組立施工試験

FAボックスの施工性および施工時の安全性を検証するため、図-2に示す实物大供試体を作製し、組立施工試験を行った。

組立手順を写真-5の(1)～(9)に示す。まず、図-7に示すH鋼を設置し、レベルを調整する。その後、(1)基礎コンクリートを打設し、H鋼が基礎コンクリート仕上げ面より15mm程度突き出した基礎（以下、レール基礎）を作製する。これは、基礎コンクリート仕上げ面に不陸が残り、側壁据付けの際、レベルや垂直度の調整に要する時間を短縮するためである。次に、(2)レール基礎上に側壁の据付けを行い、(3)側壁の上部と下部をレバーブロックにより引き寄せ固定した後、(4)頂版スラブを架設する。頂版スラブには、ハンチ突出し筋貫通孔が設けられており、側壁のハンチ突出し筋はこの貫通孔に収められる。なお、写真-5では枠組外足場が設置されているが、これは後述する静的載荷試験時のひび割れ変状などの観察用足場であり、実際の施工では側壁のインサートに足場プラケットをボルト固定することにより、外足場が仮設される。

以上で、(5)架設は完了となり、その後(6)隅角部、側壁と底版の打継ぎ面に打継ぎ用接着剤を塗布し、(7)ハンチ突出し筋貫通孔を利用して頂版スラブと側壁の隙間に無収縮モルタルを充てんする。同時に側壁の下面とレール基礎間の隙間にも無収縮モルタルを充てんし、並行して(8)底版鉄筋を配する。最後に、(9)隅角部、底版部および頂版スラブ間の目地部に場所打ちコンクリートを打設し、一体化させる。

以上のような組立手順により、組立施工試験を行い、

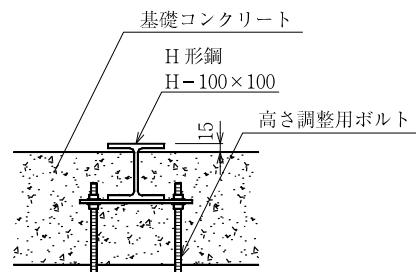


図-7 レール基礎の構造



写真-5 組立施工試験状況

以下の知見を得た。

- ①想定どおりの施工が可能であるとともに、その安全性も確認できた。
- ②側壁の据付けは1本当たり30分、計2時間程度で4本の設置が完了し、レール基礎を用いない通常の基礎に据え付けた場合より2割程度施工時間を短縮できた。レール基礎とすることにより、レベルや垂直度の調整の手間が大幅に省けたためである。
- ③鉄筋が物理的な障害となり接着剤の塗布が困難である、場所打ちコンクリート用の木製型枠設置の際に接着剤塗布面を清浄に保つのが困難である、など組立施工試験を実際に行うことにより、幾つかの問題点が明らかとなった。打継ぎ用接着剤でも一体性は確保できるが、より一体性を高めるため、場所打ちコンクリートとの打継ぎ面は、工場であらかじめ遅延剤による洗い出し処理（グリーンカット）を行うのが望ましいと考えられる。

#### 4.2 実物大供試体 静的載荷試験

(1) プレキャスト製品・場所打ちコンクリートの配合  
 図-2に示す实物大供試体のプレキャスト製品と場所打ちコンクリートの配合を表-4に示す。設計基準強度は40 N/mm<sup>2</sup>である。プレキャスト部材は膨張材を30 kg/m<sup>3</sup>入れ、乾燥収縮を補償し、ひび割れ低減を目的として収縮補償コンクリートとしている。また、図-3に示す隅角部は、場所打ちコンクリートを打設した際、下端と側端の2方向が剛性の高い製品によって変形が拘束されるため、水和熱による外部拘束ひび割れが発生しやすいと考えられる。このため、隅角部と頂版スラブ目標地間の場所打ちコンクリートも収縮補償コンクリートとした。膨張材はプレキャスト製品がCSA系、場所打ちコンクリートが石灰系膨張材である。

#### (2) 試験概要

図-2、写真-5(9)に示す内空幅11 m×内空高6 mとなる实物大供試体の静的載荷試験を行った。实物大供試

表-4 実物大供試体のプレキャスト製品と場所打ちコンクリートの配合

種別	設計基準強度 (N/mm <sup>2</sup> )	粗骨材の最大寸法 (mm)	空気量 (%)	水結合材比 W/B (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )						
						水 W	結合材 B			細骨材 S	粗骨材 G	高性能減水剤 AD
セメント C	高炉スラグ BFS	膨張材 E										
プレキャスト製品	40	20	2.0	40.7	39.1	164	264	108	30	700	1 162	2.00
場所打ちコンクリート	40	20	2.0	38.8	45.7	173	415	-	31	778	982	4.01

注) BFS: 高炉スラグ微粉末 6000

体は、斜長方向内空幅 11.388 m(斜角 75°)、土被り 0.5 m、活荷重 T-25、横断設計、斜面直角方向延長長さ 2.893 m、の設計条件により、部材厚、配筋を決定している。

載荷装置の概略図を図-8 に示す。4 台連動型の電動ポンプユニットと、写真-6 に示すような頂版スラブ上部に設けた 4 基のセンターホールジャッキを使用して、ナットとアンカーブレートを介して PC 鋼棒に緊張力を与えることにより、構造体を 2 点載荷(2 線載荷)した。ジャッキの下部には荷重計を設置し、荷重増加ごとに荷重、変位およびひずみをデータロガーで計測した。また、載荷試験前日に水平方向の 4 本の PC 鋼棒の緊張を行い、前述した設計条件における側土圧を再現する水平方向荷重(上側 107 kN/本、下側 250 kN/本)を導入した。載荷装置設置完了後の状況を写真-7 に示す。載荷試験は公開試験とし、その状況を写真-8 に示す。

### (3) 評価方法

破壊に至るまでの各載荷段階ごとの合否判定基準を下記のように取り決めた。

①設計荷重：前述した設計条件の鉛直土圧と活荷重による設計計算時の頂版スラブ中央の曲げモーメントを再現する鉛直方向荷重載荷用 PC 鋼棒の緊張力(以下、荷重)は、1 本当たり 141 kN/本(全体で 564 kN)となる。これを設計荷重と称する。設計荷重では、各断面でひび割れがなく、ひび割れがあったとしても、そのひび割れ幅が計算で求まる許容ひび割れ幅以下であることとした。

②終局荷重：道路橋示方書Ⅲ(コンクリート橋編)から求められる終局荷重<sup>13)</sup>による設計計算時の頂版ス

ラブ中央の曲げモーメントを再現する荷重は、303 kN/本(全体で 1212 kN)となる。これを終局荷重と称する。終局荷重では、各断面が終局に至っていないこととした。

③破壊抵抗荷重：道路橋示方書Ⅲから求められる頂版スラブ中央の破壊抵抗曲げモーメント<sup>13)</sup>(断面耐力より求まる値)を再現する荷重は、395 kN/本(全体で 1580 kN)となる。これを破壊抵抗荷重と称する。試験では、最大荷重が破壊抵抗荷重よりも大きくなることを確認することとした。

また、従来型ボックスの断面力の算出方法は、道路土工-カルバート工指針では二通りの算出方法が示されている<sup>1)</sup>。①ボックス底面の地盤反力を求め、底版軸線両端部の 2 点支持により計算する方法と、②基礎地盤の弾性変位を考慮し、弾性床上のラーメン構造として計算する方法である。大型ボックスの場合、どちらの計算方法がより適切であるかについても、検討を行うこととした。

### (4) コンクリートの強度試験結果

表-5 にコンクリートの強度試験結果を示す。圧縮強度試験用の供試体は実物大供試体と同一養生とし、蒸気養生後、一定期間湿潤養生を行い、その後試験日まで水中養生した。なお、場所打ちコンクリートは、設計基準強度を下回ったが、測定された強度で構造計算上問題は無かったため、そのまま静的載荷試験を行うこととした。

### (5) 静的載荷試験の試験経過状況

静的載荷試験の試験経過状況を表-6 に示す。設計荷重ではひび割れの発生も無く、また終局荷重では各断面は終局に至らなかった。最大荷重は 417 kN/本(全体で

表-5 コンクリートの強度試験結果

	材齢 14 日	載荷試験前				
		$f'_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	材齢 (日)	$f'_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	$E_c$ (kN/mm <sup>2</sup> )	$f_t$ (N/mm <sup>2</sup> )
頂版 スラブ	No. 1	-	63	61.6	37.6	4.34
	No. 2	-	62	59.0	-	-
	No. 1	41.7	70	52.7	34.8	3.86
	No. 2	43.3	69	53.8	-	-
側壁	No. 3	45.7	68	56.9	-	-
	No. 4	46.3	65	63.0	-	-
場所打ち	-	47	33.1	23.6	-	-

注)  $f'_c$ : 圧縮強度,  $E_c$ : ヤング係数,  $f_t$ : 引張強度

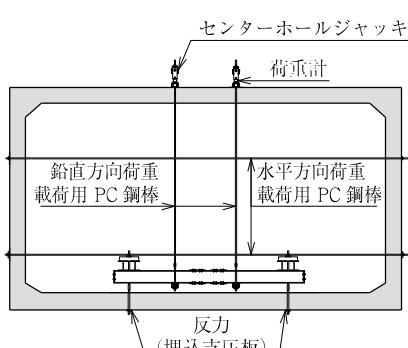


図-8 載荷装置概略図



写真-6 頂版スラブ上のジャッキ(加力装置)



写真-7 載荷装置設置完了時状況



写真-8 静的載荷試験時状況

表-6 静的載荷試験経過状況

荷重 (kN/本)	供試体状況
141 (設計荷重)	ひび割れ無し
153~163	隅角部場所打ちコンクリートと頂版スラブの継目(外側), 目視で剥離確認, 幅 0.08 mm
203~213	頂版スラブ中央内側, 目視でひび割れ確認
242~261	側壁上部外側ハンチ始点, 目視でひび割れ確認
261~282	隅角部場所打ちコンクリートと側壁の継目(外側), 目視で剥離確認, 幅 0.04 mm
282~303	頂版スラブ中央内側のひび割れ幅 0.2 mm となる
303 (終局荷重)	終局に至っていない
303~339	頂版外側ハンチ始点, 目視でひび割れ確認
339~395	底版場所打ちコンクリートと側壁の継目(外側), 目視で剥離確認, 幅 0.06 mm
395 (破壊抵抗荷重)	終局に至っていない
417	試験終了(最大荷重)

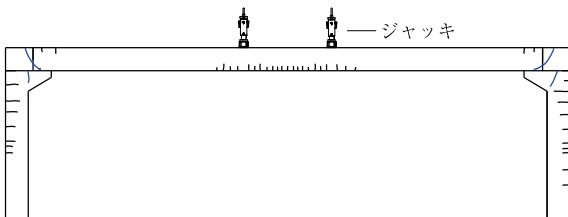


図-9 試験終了時のひび割れ状況

1 668 kN)となり、破壊抵抗荷重よりも大きくなることが確認できた。最大荷重の終局荷重に対する比は 1.38、破壊抵抗荷重に対しては 1.06 であり、安全な断面耐力を有していることが確認できた。図-9 に試験終了時のひび割れ状況を示す。頂版上部の隅角部と側壁部材のハンチ始点の縦方向にひび割れが発生したが(図-9 に青色線で表示)、いずれも終局荷重を越えてから発生したひび割れである。また、最大荷重時に頂版スラブ中央内側の鉄筋は降伏点ひずみに達した。

#### (6) 荷重-変位関係

図-10 に頂版スラブ中央の荷重-変位関係を示す。213 kN/本までは、ほぼ線形的に変位しているため、設計荷重(141 kN/本)に対し、安全な構造耐力を有していることが確認できた。

#### (7) 試験値と理論値との対比

図-11 に、頂版スラブ中央の線形領域内(213 kN/本まで)の荷重-変位関係の試験値と理論値との対比を示す。図-11 により、2 点支持の理論値よりも、弾性床上のラーメン構造としての理論値の方が試験値との整合性がとれることが分かる(それぞれの解析モデルについては、(3)「評価方法」にて前述した二通りの断面力の算出方法、および図-13、図-14 を参照のこと)。載荷試験現場の基礎状況は、520 mm の十分な版厚のコンクリート地盤で支えられていた。このため、弾性床上のラーメン構造として計算する場合の地盤反力係数は、コンク

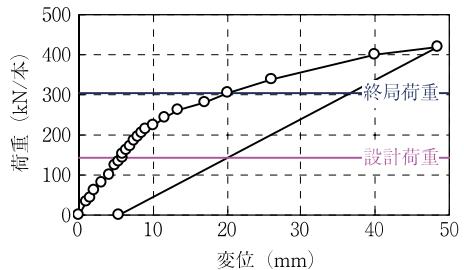


図-10 頂版スラブ中央の荷重-変位関係

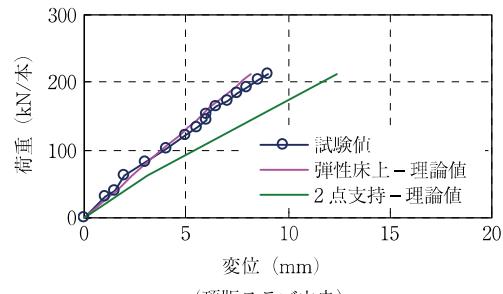


図-11 荷重-変位関係の試験値と理論値との対比

リートの設計基準強度  $f'_{ck} = 30 \text{ N/mm}^2$  の際のヤング係数  $2.8 \times 10^7 \text{ kN/m}^2$ <sup>3)</sup> を設定した。

次に、載荷試験時のひずみ測定値から曲げモーメントに換算した場合の曲げモーメント図を図-12 に、2 点支持の理論値を図-13、弾性床上のラーメン構造の理論値を図-14 に示す。ただし、図-13、図-14 は最大荷重まで線形と仮定した場合である。図-12 と図-13 を比較すると、側壁下部の曲げモーメントの符号が異なり、また底版の曲げモーメントの大きさも異なることが分かる。一方、図-12 と図-14 を比較すると、線形領域内では試験結果と理論値がおおむね一致する。したがって、この対比結果からも、大型ボックスの場合、断面力の算出方法は弾性床上のラーメン構造として計算する方が適切であることが分かる。線形領域内の図-12 と図-14 の対比図の一例を図-15 に示す。

試験結果と理論値がほぼ一致したことにより、隅角部のループ継手構造は有効に機能し、ラーメン構造として計算して良いことが分かった。

また、2 点支持ラーメン構造モデルは、弾性床上ラーメン構造モデルに対しておおむね安全側の設計であるといえるが、底版曲げモーメントが大きすぎることを考えると過剰設計ともいえる。したがって、今後の大型ボックスの設計においては、標準貫入試験の N 値が明確であり地盤反力係数の算出<sup>14)</sup>が容易な現場に対しては弾性床上のラーメン構造として構造計算を行い、N 値が明確でない現場に対しても平板載荷試験や一軸圧縮試験、または三軸圧縮試験を行うなどして十分現場の地盤条件を調査して構造計算を行うことが、より合理的な設計となり得る。

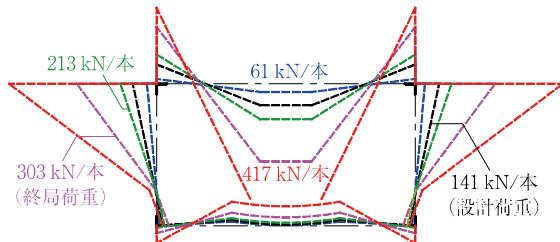


図-12 ひずみ計測値から求めた曲げモーメント図

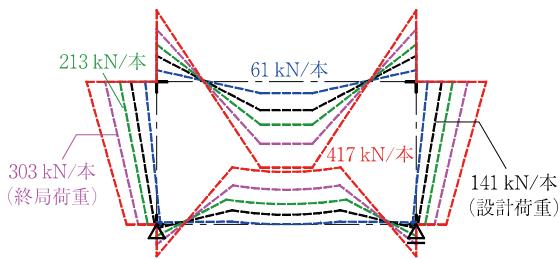


図-13 2点支持ラーメン構造の曲げモーメント図

## 5. まとめ

ループ継手構造によるプレキャストコンクリート製斜角大型ボックスカルバート(FAボックス)を開発した。本報では、隅角部ループ継手構造の基礎実験、実物大供試体による性能確認試験として行った組立施工試験、および実物大供試体静的載荷試験の結果について述べた。以下に得られた知見について示す。

- 1) 隅角部へのループ継手構造の適用は有効であり、ループ継手構造は一体型と同等の性能、断面耐力を有することが分かった。
- 2) FAボックスは、想定どおりの施工が可能であり、またその安全性も確認した。
- 3) 側壁の据付けは、レール基礎の採用により施工性が向上した。
- 4) 大型ボックスカルバートの場合、断面力の算出方法は、ボックス底面の地盤反力を求め、底版軸線両端部の2点支持により計算する方法よりも、基礎地盤の弾性変位を考慮し、弾性床上のラーメン構造として計算する方が適切であることが分かった。
- 5) 実物大供試体の静的載荷試験結果と理論値がほぼ一致したことにより、隅角部のループ継手構造は有效地に機能し、ラーメン構造として計算して良いことが分かった。
- 6) 今後の大型ボックスカルバートの設計においては、標準貫入試験のN値が明確であり地盤反力係数の算出が容易な現場に対しては弾性床上のラーメン構造として構造計算を行い、N値が明確でない現場に対しても平板載荷試験や一軸圧縮試験、または

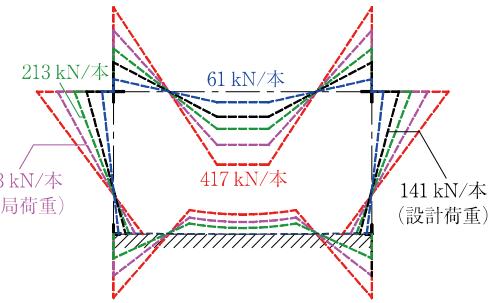


図-14 弾性床上ラーメン構造の曲げモーメント図

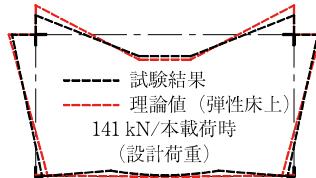


図-15 試験結果と理論値との対比（曲げモーメント）

三軸圧縮試験を行うなどして十分現場の地盤条件を調査して構造計算を行うことが、より合理的な設計となり得ると考えられる。

## 参考文献

- 1) 日本道路協会：道路土工-カルバート工指針（平成21年度版），p.137, pp.108~110, 2010.3
- 2) 日本コンクリート工学協会：「プレキャストコンクリート製品の設計と利用研究委員会」報告書, p.1, 2009.8
- 3) 土木学会：2007年制定コンクリート標準示方書〔設計編〕, p.44, pp.248~252, 2008.3
- 4) 中村定明：RCループ継手の力学挙動に関する実験および解析, 石川島播磨技報, Vol.44, No.2, pp.66~74
- 5) 小田切隆幸・藤田 学・新井英雄・山崎 淳：繰り返し高圧縮応力を受ける全数ループ継手の性能評価, コンクリート工学年次論文集, Vol.21, No.3, pp.919~924, 1999
- 6) 石崎 茂・松井繁之・金 闇七・久保圭吾：プレキャスト床版用クランプ継手の曲げ・せん断耐荷力と耐久性, コンクリート工学年次論文集, Vol.22, No.3, pp.727~732, 2000
- 7) 今村晃久・毛利忠弘・天野明子・角田與史雄：スプライスPC構造に関する実験的研究について, コンクリート工学年次論文集, Vol.22, No.3, pp.847~852, 2000
- 8) 今村晃久・松岡 篤・天野明子・角田與史雄：スプライスPC構造の継手構造に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.23, No.3, pp.865~870, 2001
- 9) 山田尚義・原 夏生・三島徹也・大屋戸理明：継手を有するハーフプレキャスト合成スラブの疲労性状, コンクリート工学年次論文集, Vol.24, No.2, pp.793~798, 2002
- 10) 小野聖久・上東 泰・野島昭二・紫桃孝一郎：織維補強コンクリートによるプレキャスト床版継手部の合理化に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.25, No.2, pp.1699~1704, 2003
- 11) 池谷信貴・浅野浩一・小林 潔・酒井正和：鋼・コンクリート合成床版MESLABの新継手構造の開発, 三井造船技報, No.187, pp.30~37, 2006
- 12) 平 陽平・須田久美子・相河清美・野口孝俊：プレキャスト床版間詰部の繰り返し載荷実験, 土木学会年次学術講演会講演概要集, Vol.62, pp.551~552, 2007
- 13) 日本道路協会：道路橋示方書（I共通編・IIIコンクリート橋編）・同解説, pp.115~116, pp.137~143, 2002.3
- 14) 日本道路協会：道路橋示方書（I共通編・IV下部構造編）・同解説, pp.263~257, 2002.3