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 九州大学大学院工学研究院建設デザイン部門

片山, 強 (株) ヤマウ技術本部開発・設計部

堤, 俊人 (株)ヤマウ技術本部副本部長

松下, 博通 福岡建設専門学校校長

https://hdl.handle.net/2324/19336

出版情報:コンクリート工学. 49 (3), pp.13-20, 2011-03. 日本コンクリート工学協会 バージョン: 権利関係:

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*1·片山強*2·堤俊人*3·松下博通*4

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 の様な斜角のボ 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,場所打ちコンクリ ートによるもの,全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,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三つに分けられる。各工法



図-1 斜角のボックスカルバートの形状¹⁾

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

| | 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 | ー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 を緊張する事で一体化 | 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 | 全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。 | 全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 | | | | |
| | | | | | | | |

表-1 各ボックスカルバート工の特徴

内空幅 8000×内空高 4000mm,斜角 =75°,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/㈱ヤマウ 技術本部 開発・設計部(正会員)

^{*3} つつみ・としと/㈱ヤマウ 技術本部 副本部長(非会員)

^{*4} まつした・ひろみち/福岡建設専門学校 校長(正会員)

以上の斜角の条件では,通常は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 ており²⁾,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 (Free-Angle 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し筋(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。

頂版スラブと側壁との接合は,隅角部に場所打ちコンク





リートを充填し,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構造としている。PRC構造とするのは, 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

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.** ~ **, 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 the 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



写真-1 頂版スラブ (PRC構造)



写真-2 側壁上部(左)と下部(右)

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60~90°までの角度(図-1に 示す)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,更に隅角部,底版部と写真-3 に示すせ ん断キー³⁾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⁴⁻¹²⁾,何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



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)

験機により幅100mmの帯載荷とした。

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,各載 荷段階を以下の様に設定した。

表-2 隅角部供試体一覧







図-4 載荷方法概略図

写真-4 載荷試験状況

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。 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。

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 は何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 領域内では差はみられなかった。

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った。 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。

| 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 |

表-3 隅角部供試体のひび割れ発生荷重と最大荷重







図-6 側壁外側ハンチ始点鉄筋の荷重 - ひずみ関係

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

実物大供試体を作製後,組立施工試験を行い,その後, 実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 に示す実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ブラケット 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)八 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填する。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填し,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。

以上の様な組立手順により,組立施工試験を行い,以下 の知見を得た。



図-7 レール基礎の構造



(1) レール基礎の設置



(3)レバーブロックによる側壁引寄せ



(4) 頂版スラブ架設



(7)無収縮モルタル充填

(2) 側壁据付け



(5)架設完了時状況







(6) 打継ぎ用接着剤塗布



(9)場所打ちコンクリート打設完了

写真-5 組立施工試験状況

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。

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。

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を表-4 に示す。設計基準強度は 40N/mm²である。プレキャスト部材は膨張材を 30kg/m³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

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

| | 設計基 | 粗骨材 | 空気量 | 2気量 水結合 | 細骨 | 単位量(kg/m³) | | | | | | |
|------------|---------|------------|----------------|------------|------|------------|-----------|---------------------------|----------|-----|------|-------------|
| 種別 | 準強度 | の最大 | | 材比 | 材率 | 水 | 結合材 B | | 細骨材 | 粗骨材 | 高性能 | |
| | (N/mm²) | 寸法 (mm) | 寸法 (mm) (%) | W/B (%) | (%) | w | セメント C | 高炉スラク [゙] BFS | 膨張材 E | S | G | 減水剤 G AD |
| プレキャスト製品 | 40 | 20 | 2.0 | 40.7 | 39.1 | 164 | 264 | 108 | 30 | 700 | 1162 | 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

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11m×内空高6mとなる 実物大供試体の静的載荷試験を行った。実物大供試体は, 斜長方向内空幅11.388m(斜角75°),土被り0.5m,活荷 重T-25,横断設計,斜面直角方向延長長さ2.893m,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 アンカープレートを介して 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 107kN/本,下側 250kN/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



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)

記の様に取り決めた。

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本当り141kN/本(全体で564kN)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。

終局荷重:道路橋示方書 (コンクリート橋編)から 求められる終局荷重¹³⁾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,303kN/本(全 体で1,212kN)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。 破壊抵抗荷重:道路橋示方書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¹³⁾(断面耐力より 求まる値)を再現する荷重は,395kN/本(全体で 1,580kN)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,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



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

後,一定期間湿潤養生を行い,その後試験日まで気中養生 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417kN/本(全体で1,668kN) 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),何れも終局 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。 213kN/本までは,ほぼ線形的に変位しているため,設計荷

| | | 材齢 14 日 | 載荷試験前 | | | | | |
|-----------------------------|------|-----------|-------|---------|-------------|---------|--|--|
| | | f'c | 材齢 | f'c | Ec | ft | | |
| | | (N/mm²) | (日) | (N/mm²) | (kN/mm^2) | (N/mm²) | | |
| 頂版 | No.1 | - | 63 | 61.6 | 37.6 | 4.34 | | |
| スラブ | No.2 | - | 62 | 59.0 | - | - | | |
| 側壁 | No.1 | 41.7 | 70 | 52.7 | 34.8 | 3.86 | | |
| | No.2 | 43.3 | 69 | 53.8 | - | - | | |
| | 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'a・圧縮強度 Ea・セング係数 ft・引進強度 | | | | | | | | |

表-5 コンクリートの強度試験結果

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0.08mm | | | |
| 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 0.04mm | | | |
| 282 ~ 303 | 頂版スラプ中央内側のひび割れ幅0.2mm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0.06mm | | | |
| 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) | | | |

重(141kN/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(213kN/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、前頁(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, 520mm 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,コンクリートの設計基準強度 f'ck=30N/mm²の際のヤング係数2.8×10⁷kN/m²³⁾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。但し,図-13,図-14 は最大荷重まで線形と仮定





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



図-14 弾性床上ラーメン構造の曲げモーメント図

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事が分かる。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概ね一 致する。従って,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。線形領域内での図 -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概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 設計とも言える。従って,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¹⁴⁾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-15 試験結果と理論値との対比(曲げモーメント)

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。
- 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

- 日本建築学会:プレストレストコンクリート設計施工基準・同解 説日本道路協会:道路土工 - カルバート工指針(平成 21 年度版), p.137, p.108~p.110, 2010.3
- 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.3,1999

- 6) 石崎茂・松井繁之・金閏七・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.3,2000
- 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.3,2000
- 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.3,2001
- 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, 2002

- 10) 小野聖久・上東 泰・野島昭二・紫桃孝一郎:繊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, 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.187,2006
- 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(共通編・ 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(共通編・ 下部構造編)・同解説, pp.263~257,2002.3