

複合PCランガー橋アーチリブ接合部の安全性確認実験

土井 至朗*1・松岡 茂*2・益田 彰久*3

概 要

根室本線・星が浦海岸通架道橋は、アーチ部材が鉄筋コンクリート、鉛直部材が鋼管、補剛部材がPC構造で構成される複合PCランガー橋であることから、鉛直部材である鋼管の断面力を鉄筋コンクリートであるアーチ部材に確実に伝達させる必要がある。そこで、RC部材と鋼管部材との接合部の耐力および破壊形態を把握し、設計の妥当性および安全性を確認することを目的に縮小モデルによる載荷試験を実施した。その結果、最終耐力は設計引き抜きせん断耐力の2.5倍以上を有していることが確認できた。

キーワード：ランガー橋，接合部，せん断耐力

A SAFETY VERIFICATION TEST FOR THE ARCH RIB JOINTS
OF COMPOSITE PC LANGER BRIDGE

Shiro DOI *1, Shigeru MATSUOKA *2, Akihisa MASUDA *3

Abstract

The Shin-Otanoshike Langer Bridge is a composite structure. The arch members are made of reinforced concrete whereas the vertical members are steel pipes. The cross sectional force of the vertical members must be transmitted to the reinforced concrete arch members without fail. In order to determine the resistance of the joints between the reinforced concrete members and the steel pipes as well as their mode of destruction and to verify the design was acceptably safe, a loading test was conducted using a scale model and a study based on the FEM analysis was performed for a full size bridge. These studies have confirmed that the final resistance of the bridge was at least 2.5 times as high as the design pullout shear capacity.

Keywords: langer bridge, joint, shear capacity

*1 Geotechnical Engineering Group, Engineering Technology Center, Engineering Division

*2 General Manager, Technology Planning Department, Engineering Division

*3 Tohoku branch

複合 PC ランガー橋アーチリブ接合部の安全性確認実験

土井 至朗*1・松岡 茂*2・益田 彰久*3

1. はじめに

平成 20 年度に開業した JR 北海道根室本線新大楽毛・新富士間の鉄道高架化工事では、スパンが 65m の日本最大級の下路桁形式の鉄道 PC ランガー橋である星が浦海岸通架道橋が施工された¹⁾。この鉄道 PC ランガー橋の特徴は、アーチ部材が RC 構造、鉛直部材が鋼構造、補剛部材が PC 構造で構築された複合構造となっている点である。そのため、鉛直部材である鋼管の断面力を鉄筋コンクリートであるアーチ部材に確実に伝達する接合部の安全性評価が、設計上の重要な課題である²⁾が、本橋のように接合部に RC 構造と鋼構造を採用した形式は実橋では前例が無い。第一新田川橋りょうの検討結果によると³⁾、接合部の破壊は RC 部材のせん断耐力で決定され、耐力は RC 部材の軸力の影響を受けることが明らかになっている。しかしながら、軸力が接合部の耐力に与える定量的な評価は行われていない。また、RC 構造と鋼構造との接合角度が変化した場合の接合部の破壊および耐力に関する検討も行われていない。

そこで、星が浦海岸通架道橋の施工に先立ち、アーチ部材と鉛直部材との接合部の安全性を確認することを発注者である北海道旅客鉄道株式会社より依頼された。本論文は、接合部の安全性を確認するために実施した接合部の耐力確認試験結果をとりまとめたものである。アーチ部材には軸力が卓越することから、接合部の耐力に対する軸力の影響を定量的に把握することを目的に載荷実験を実施し

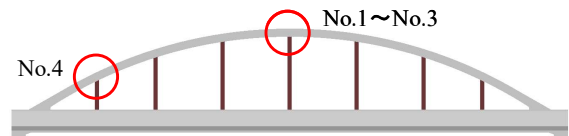


図-1 試験ケース対象箇所

表-1 試験ケース一覧

実験ケース	軸力比	接合部	コンクリート強度 (N/mm ²)
No.1	0.0	天頂部	64.9
No.2	0.19 (設計軸力相当)		68.3
No.3	0.3		68.5
No.4	0.0	端部	64.2

表-2 試験体諸元

	実構造物	試験体
b (mm)	750	450
d (mm)	852	520
h (mm)	950	570
軸方向鉄筋	D32 16本	D19 16本
A _p (mm ²)	12672	4560
p	0.0178	0.0178
A _{pw} (mm ²)	3960	1425
p _w	0.0062	0.0061
せん断補強筋	D16 ピッチ 50mm or 100mm	D10 ピッチ 30mm or 60mm

た。

2. 耐力確認試験

2.1 試験ケース

試験ケースは図-1 に示すように、No.1~No.3 はランガー橋中央の接合部を対象とし、軸力をパラメータとした。本橋の設計による

*1 エンジニアリング本部 建設技術総合センター 地盤グループ

*2 エンジニアリング本部 技術企画部

*3 東北支店 須賀川作業所

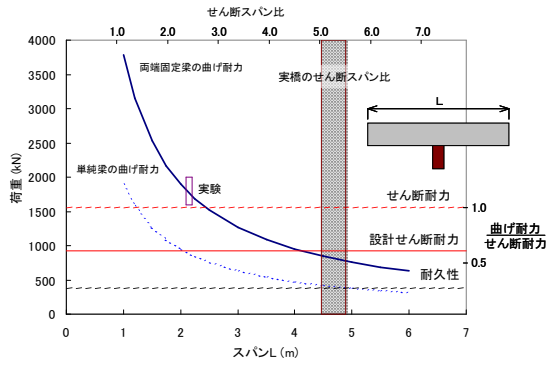


図-2 せん断スパンと耐力の関係

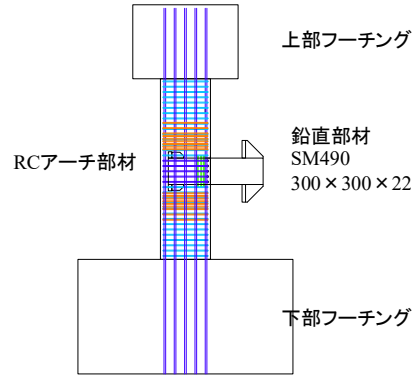


図-3 No.1~3 試験体

とアーチ部材に生じる軸力比は 0.19 程度であることから、表-1 に示すように軸力が全く作用しない場合、設計軸力相当の場合、設計軸力の約 1.5 倍作用させた場合の 3 ケースを設定した。さらに、接合角度の影響を把握するためのケースとして端の端部を模擬した No.4 試験体を設定した。なお、表-1 には、載荷試験時に確認した試験体のコンクリート強度も記入している。試験体のコンクリート強度については、本橋の設計基準強度が 60N/mm^2 であることから、載荷試験時に 60N/mm^2 程度になることを目標として管理した。

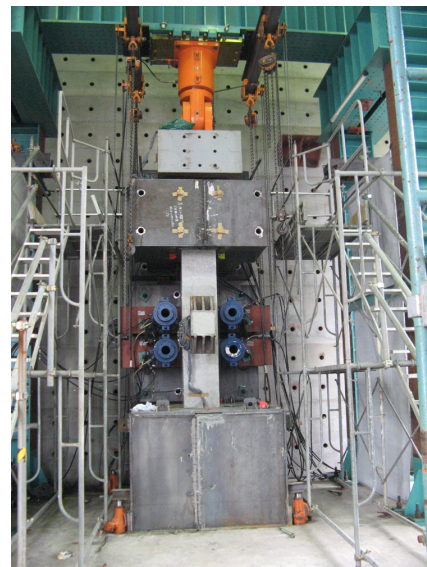


写真-1 No.1~3 載荷状況

2. 2 試験体および試験方法

試験体は、載荷設備の制約があることから実構造物の 6 割（部材の断面積比で 36%）とし、鉄筋比については実構造物と同様となるよう、鉄筋径を選定した。表-2 に実橋と試験体の断面諸元の比較を示す。

実橋のアーチ部材は鉛直材の間隔が比較的大きいことから、設計では曲げ耐力で断面仕様が決定されており曲げ破壊先行型の破壊形態を示す。しかし、本載荷実験の目的は、RC 構造であるアーチ部材のせん断耐力で決定される接合部の耐力を把握することであるため、アーチ部材のせん断破壊が先行するようなせん断スパン比とする必要があった。そこで、アーチ部材に配置されているせん断補強筋を全て有効としてせん断耐力を算定し、せん断

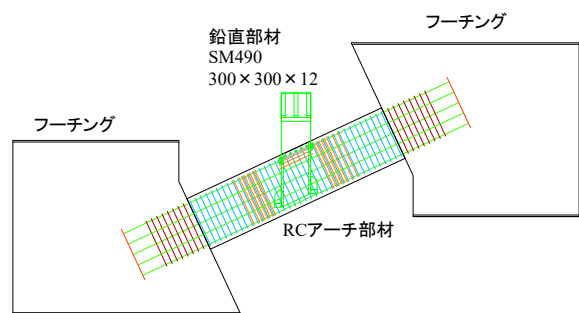


図-4 No.4 試験体

破壊先行型の破壊となるようなせん断スパンを検討した。その結果、図-2 に示すようにせん断スパン比 2.5 以下であれば、試験体の両端を固定することでせん断破壊先行型の破壊形態を示すこと明らかとなった。そこで、試験体のせん断スパン比を約 2.1 とした。な

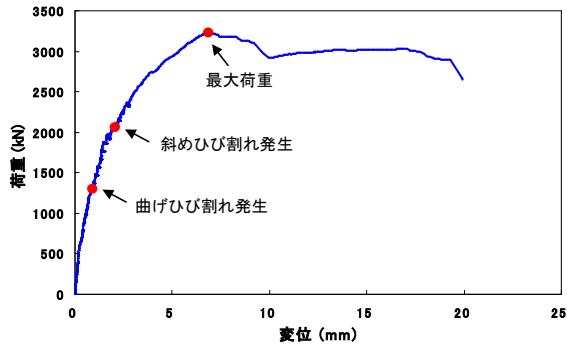


図-5 No.3 試験体 荷重-変位曲線

お、当該橋梁の設計では、アーチ部材に配置されているせん断補強鉄筋の一部を有効としていることから、設計で用いた値を「設計せん断耐力」として図中に記述した。また、図中の「耐久性」とは、設計では斜めひび割れの発生を許容していないことから、発生するせん断力を設計せん断耐力の70%に制限している。そこで、耐久性として設計せん断耐力の70%の値を記したものである。

試験体は両端固定とするために図-3, 4に示すように試験体の両側にはコンクリート製のフーチングを設け、PC鋼棒で反力壁・床に固定した。軸力を導入するNo.1~3の試験体については、写真-1に示すように上部に設置した油圧ジャッキにより所定の軸力を導入した。その後、水平方向に配置したジャッキで鋼管端部に設けた張り出し部分に荷重を行い、鋼管を引き抜く形で荷重を行った。No.4は、図-4に示すように実橋とは上下逆さまに配置し、鋼管部分を下から押し上げる形での荷重とした。

2.3 試験結果

天頂部をモデル化したNo.1~3の試験結果については、ほぼ同様の挙動を示し、荷重開始後、軸力比に関係なく曲げひび割れ発生後に斜めひび割れが発生した。さらに荷重を継続すると、斜めひび割れが進展し、そのひび割れが固定端まで達し荷重が低下する結果となった。代表例としてNo.3の荷重変位曲線を図-5に、最大荷重到達時点で鉄筋が降伏

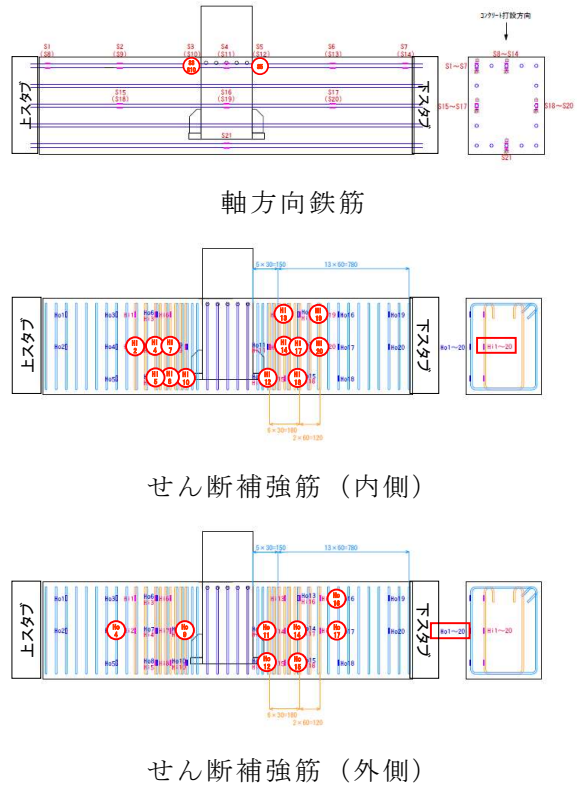


図-6 No.3 試験体鉄筋降伏位置

表-3 荷重値一覧

	No.1	No.2	No.3	No.4
斜めひび割れ発生荷重 (kN)	980	1372	2059	1275
最大荷重 (kN)	2552	2978	3219	2897
設計押し抜きせん断耐力 (kN)	929	1074	1138	851

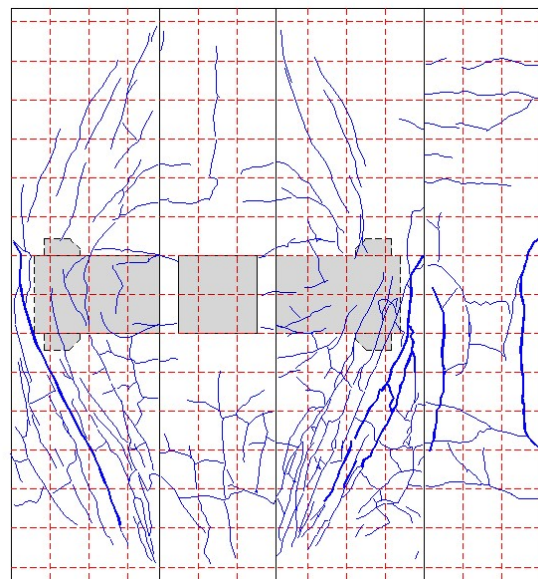


図-7 ひび割れ状況

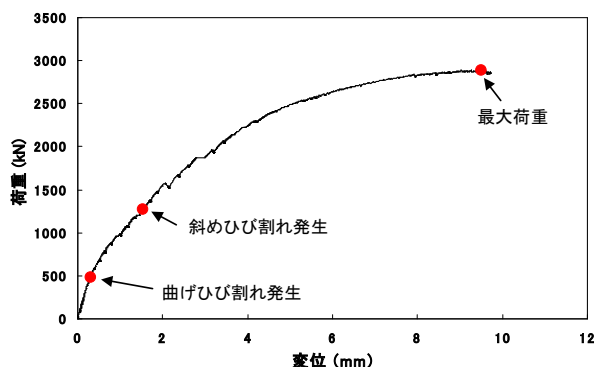


図-8 No.4 試験体 荷重-変位曲線

している位置を図-6に示す。載荷中は曲げひび割れが1275kNで発生し、斜めひび割れは2059kNで発生した。その後斜めひび割れが増加し破壊面が形成されていったが、3200kNを超えたあたりで破壊音を発し一時的に荷重が低下した。その後は載荷を継続することはできたが、荷重が増加することがなかったため載荷を終了した。

鉄筋については、図-6に示すように軸方向鉄筋が降伏した箇所は鉛直部材の近傍のみであり、その他の部分は降伏はずみに至っていない。一方、せん断補強筋の降伏箇所は斜めひび割れに沿って複数発生した。これらのことから、No.1~No.3の供試体についてはせん断破壊先行型の破壊形態と判断される。鉄筋の降伏状況はNo.1~3の試験体に共通しており、鉄筋の計測結果からも軸方向鉄筋の大部分は降伏に至っていないことから、試験体はせん断破壊したと判断できる。また、試験終了後の試験体についてはつり調査を行ったところ、コンクリートに明確なせん断破壊面が形成されていることを確認した。最大荷重については表-3に示すように軸力比が大きくなるのに伴って増加している。RC部材のせん断耐力は、軸力が大きくなるのに伴って増加することが知られており、このことから接合部の耐力はRC部材のせん断耐力で決定されていると推察される。No.1~3の最終状態におけるひび割れ状況は、

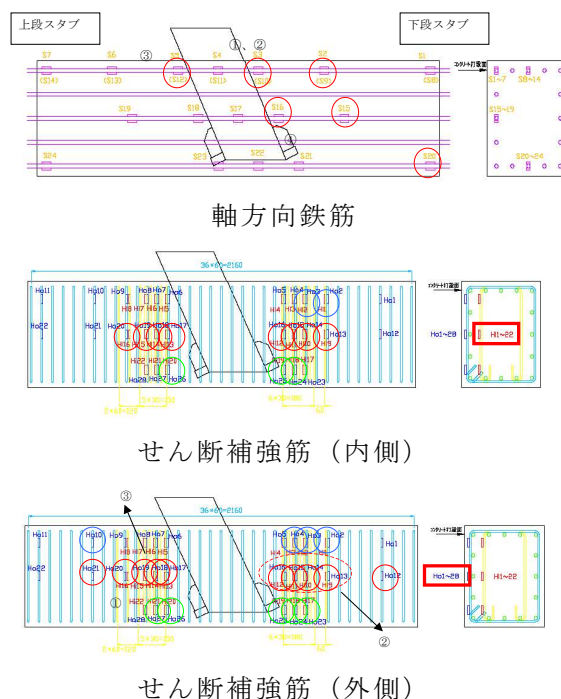


図-9 No.4 試験体鉄筋降伏位置

図-7に示すように各試験体ともに載荷点となった鋼管から下部のフーチングにひび割れが多く分布しており、最終的な破壊面となった斜めひび割れもスパン中央の鋼管から下部フーチングに向けて発生している。

No.4 供試体は、他の供試体と同様に斜めひび割れが発生したが、図-8の荷重変位曲線に示すようにせん断破壊先行型のような荷重の低下は見られなかった。最終的には軸方向鉄筋が降伏し、固定端付近の圧縮側コンクリートの端部から剥離が生じたことから載荷を終了した。

載荷終了時における鉄筋の降伏箇所を図-9に示す。同図に示すように軸方向鉄筋・せん断補強筋ともに降伏している範囲は試験体全体に広く分布している。特に軸方向鉄筋については、複数の鉄筋が降伏していることから、No.1~3の試験体のようなせん断破壊先行型とは判断できない。また、ひび割れ状況においても明確な破断面を確認できなかった。以上のことから、No.4の試験体は、せん断破壊先行型でなく曲げ破壊先行型の破壊形態を示した可能性を有している。

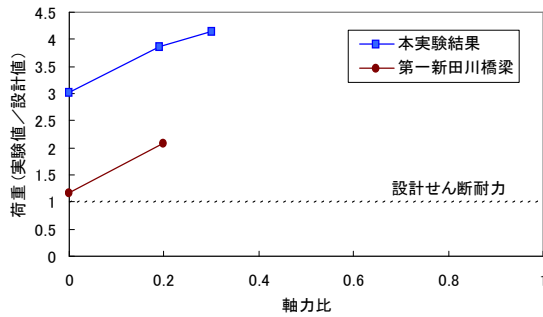


図-10 設計せん断耐力と実験値の比較

3. 設計に対する安全性の検討

星が浦海岸通架道橋のランガー橋における設計では、鉛直部材である鋼管の引き抜き力は、RC 構造であるアーチ部材のせん断耐力で決定されるものとしている。そのせん断耐力の算定では、アーチ部材の軸力による影響およびアーチ部材と鉛直部材との交差角度の影響は考慮しないものとしている。したがって、鋼管の引き抜き力であるアーチ部材のせん断耐力は、設計上は「鉄道構造物等設計標準・同解説 コンクリート構造物」⁴⁾の棒部材の設計せん断耐力の算定方法に従い算定しており、軸力の影響を考慮していない。この設計せん断耐力と載荷実験との関係は、図-10に示すように設計せん断耐力に比べて実験値は、かなり大きな値を示している。また、同様の構造である第一新田川橋梁の接合部の実験値¹⁾と比較しても、かなり大きな値を示している。これは、設計では4本あるせん断補強筋のうち、内側の2本のみを有効としているのに対して、実際には4本全てが有効に働いていると考えられることと、鋼管の定着部分に軸方向鉄筋が貫通している構造となっていることから、この貫通している軸方向鉄筋により実験値が大きくなったものと推察される。これに対して、第一新田川橋梁の接合部の設計では、アーチ部材に配置されたせん断補強鉄筋を全て有効とし、鉛直

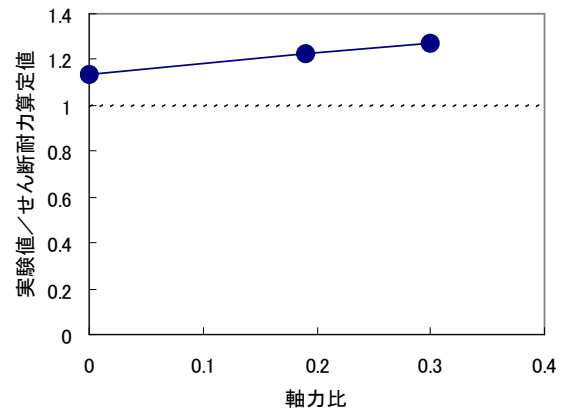


図-11 軸力を考慮した設計値との比較

部材には軸方向鉄筋が貫通していないため、設計せん断耐力と実験結果は比較的近い値を示したものと考えられる。

設計せん断耐力の算定では、前掲の設計式に示すように軸力の影響を無視しているため、設計せん断耐力は一定値となっているが、実験結果は軸力比の増加に伴って大きくなっている。したがって、実験結果に基づけば、アーチ部材のせん断耐力算定では軸力の影響を考慮することが合理的であると判断される。特に、ランガー橋のアーチ部材は軸力が卓越することから、軸力によるせん断耐力の増加を考慮することができれば、より経済的な設計が可能であると思われる。そこで、コンクリート標準示方書⁵⁾に基づき、軸力を考慮したせん断耐力の算定値と実験値との比較を行った結果を図-11に示す。配置されているせん断補強筋4本全てを有効として軸力を考慮した場合の結果を記した。同図に示すように、せん断補強筋をすべて考慮した場合に、算定値は実験値と近くなっており、実験値を安全側で評価できていることが分かった。

ランガー橋の端部に位置する接合部をモデル化したNo.4の試験体については、アーチ部のせん断破壊で最終的な耐力が決定されていない。そのため、実験値は、図-10に示すように設計で用いているアーチ部

材のせん断耐力に比べて非常に大きな値を示している。これは、No.4 試験体の実験値が曲げ破壊で決定されたことに起因している。以上のように星が浦海岸通架道橋の接合部の耐力は、設計で用いたアーチ部材のせん断耐力以上を保持していることが確認され、十分な安全性を確保している。

4. まとめ

以上の実験結果および設計との比較から、下記のことが確認できた。

- (1)接合部の耐力を確認する目的で、せん断スパン比を実橋より小さく設定して実験をおこなった。その結果、接合部の耐力はアーチ部材の軸力比及びアーチ部材と鉛直部材との交差角度の影響を受けることが明らかになった。
- (2)今回行った実験の範囲では、接合部の耐力は軸力と交差角度の影響を考慮しないで算定した RC 部材のせん断耐力以上あることが明らかとなった。
- (3)アーチ部材と鉛直部材との交差角度により、破壊形態が異なる結果となった。
- (4)設計値としてせん断補強筋を全て有効とし、軸力を考慮することで実験値に近い値を得られることが分かった。

以上の載荷実験結果から、接合部の耐力は設計値を十分に上回っていることが確認でき、星が浦海岸通架道橋の安全性を検証することが出来た。なお、本論文は筆者の一人が発表した報告⁶⁾を再編成したものです。

謝辞

本実験を行うにあたり、北海道大学の上田多門教授、杉山隆文教授、佐藤靖彦准教授、鉄道総合技術研究所の谷村幸裕博士、杉本一朗博士および北武コンサルタントの渡邊忠朋博士には、計画段階から多大なご指導とご協力をいただきましたことを、ここに御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 川村力・枝松正幸・神田隆司・江島賢一：JR 根室本線星が浦海岸通架道橋の施工，プレストレストコンクリート，Vol.50, No.5, pp.12-18, 2008.9
- 2) 川村力・枝松正幸・古道知広・小幡和由・佐藤茂美・土井至朗：星が浦海岸通架道橋の設計と施工，橋梁と基礎，pp.21-27, 2008.9
- 3) 斉藤恭之・大郷貴之・大庭光商：複合ランガー橋における吊材定着部の実験，SED, No.12, pp.82-91, 1999.5
- 4) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説（コンクリート構造物）2004.4
- 5) 土木学会：コンクリート標準示方書「設計編」,2007
- 6) 土井至朗・川村力・枝松正幸・松岡茂：下路桁形式複合 PC ランガー橋接合部の安全性に関する検討，コンクリート工学年次論文報告集，2009