

論文 橋桁にプレストレス工法で結合した RC 橋脚の正負交番繰り返し外力に対する復元力特性

保坂勲*1 神山貴男*2 町田篤彦*3 William TANZO*4

要旨：ラーメン構造の橋桁と橋脚の剛結部が、鉄筋コンクリート（RC）構造のとき、及びプレストレス結合構造であるときの繰り返し外力に対する復元力特性の違いを調べるため、その剛結部を模した供試体を作製し、正負交番載荷実験を行った。実験において、接合部で不規則なすべりが生じたものの、プレストレス結合の大変形時の変形性能、及びエネルギー吸収はRC構造と比較して非常に小さいこと、またプレストレス量、及びPC鋼材の径を変化させることで復元力特性、破壊形式が異なること、さらには接合部のすべりが復元力特性に大きな影響を与えることが確認された。

キーワード：プレストレス結合、正負交番載荷実験、エネルギー吸収

1. はじめに

近年、高速道路において走行上の快適さから連続橋が数多く建設されている。その橋桁部分が施工上、及び製作の省力化のためにプレキャストブロックが用いられているが、さらに架設の省力化を目指して橋桁と橋脚上端もプレキャストブロックにした工法が用いられている。この工法において、橋桁と橋脚上端の剛結部にPC鋼材を用いて緊結する工法が採用されているが、従来のRC構造と比較して、橋脚上端で地震のような水平外力が加わる場合、どの程度の繰り返し外力に耐えることが可能なのか明確にされていない。そこで本研究は、橋桁と橋脚上端の剛結部がRC構造の場合とプレストレス結合構造の場合の比較を正負交番載荷実験により行い、プレストレス結合部の基本的性質を求めることを目的とした。

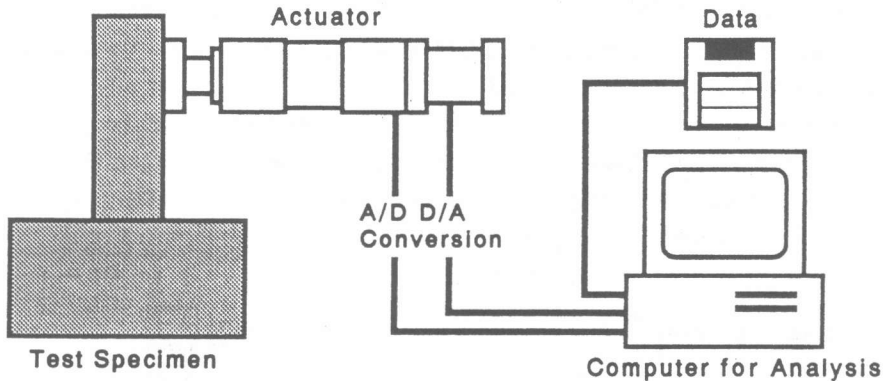


図- 1 実験システム構成

*1 埼玉大学大学院、理工学研究科建設工学専攻（正会員）

*2 埼玉大学大学院、理工学研究科建設工学専攻（正会員）

*3 埼玉大学教授、工学部建設工学科、工博（正会員）

*4 埼玉大学助手、工学部建設工学科、工博（正会員）

2. 正負交番載荷実験システム概要

正負交番載荷実験は、本実験においては地震波を供試体に入力する仮動的実験システム[1]の一部を利用して、A/D及びD/A変換を通して自動的に供試体への載荷及び計測を行った。つまり、降伏変位以降はコンピューター内のプログラムにより作成された三角波に従って、コンピューターからD/A変換を通してアクチュエーターに命令変形量が送られ、載荷の結果、復元力及び実際の変位がA/D変換を通してコンピューターに計測データとして取り込まれ、供試体絵の繰り返し載荷が行われた。図-1にそのシステム構成を示す。

表-1 使用材料特性

| | | | |
|-------------------------------------------|-----|-------|--|
| Concrete compressive strength (MPa) | | 37.3 | |
| Yielding strength of reinforcements (MPa) | D13 | 372.8 | |
| | D6 | 399.2 | |

| Type | Area (mm ²) | Yielding Load (kN) | Breaking Load (kN) |
|-----------|-------------------------|--------------------|--------------------|
| SBPR φ9.2 | 66.48 | 87.6 | 95.0 |
| SBPR φ13 | 132.7 | 176 | 193 |

3. 実験概要

3. 1 供試体

図-2に正負交番載荷実験に使用した供試体を示す。供試体は図-3に示すラーメン構造物の中央橋脚と橋桁の剛結部を模したものである。供試体の断面形状、及び寸法はRC構造、プレストレス結合構造で基本的には同じである。橋脚に当たる柱部分においては、断面寸法を200×200mmとし、主鉄筋にD13を4本使用し、せん断補強筋にD6をピッチ80mmで配筋した。プレストレス結合の供試体の場合は、柱部分とフーチング部分が完全に分離しており、PC鋼棒を用いて緊結するため、柱部分及びフーチング部分の断面にφ20のシーブ管を120mm間隔で2本配置した。実験に使用したPC鋼棒はφ9.2及びφ13の2種類であり、プレストレスは実験の直前に導入して柱部分とフーチング部分を緊結した。使用した材料特性を表-1に示す。

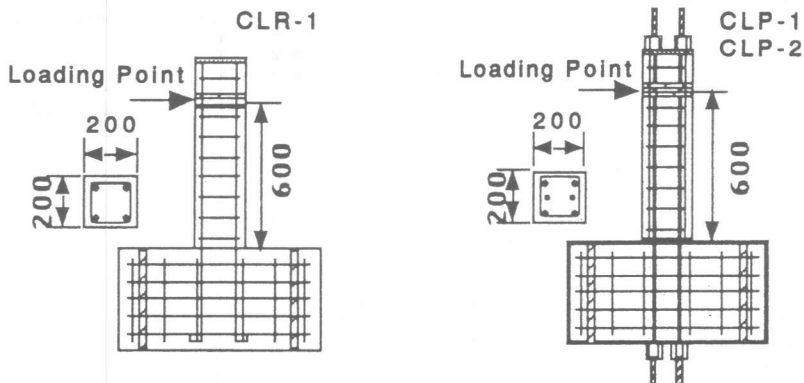


図-2 供試体

3. 2 載荷計画

2で述べたように、降伏変位以降は自動的な計測が可能であるが、RC構造の場合には降伏変位まではコンピューターを通して0.5mmずつ徐々に変形量を与え、降伏変位以降は降伏変位の整数倍の変位を片振幅として交番載荷を行った。プレストレス結合の場合は2mmずつ変形量を与えた。また各変位段階における繰り返し回数を5回とした。表-2に今回の実験要因を示すが、まずプレストレス結合との比較の対象として一般的な剛結部であるRC構造の正負交番載荷実験としてCLR-1を行い、次にプレストレス結合構造の正負交番載荷実験としてCLP-1、最後に導入プレストレスの率を等しくした正負交番載荷実験としてCLP-2を行った。CLP-1は $\phi 9.2$ のP CPC鋼棒を用いて、導入プレストレスを1本当たり41.2kNとし、CLP-2では $\phi 13$ のP CPC鋼棒を用いて、導入プレストレスを1本当たり82.3kNとした。また、プレストレス結合構造供試体においてはアンボンド式とした。測定項目は、すべての供試体においてアクチュエーターからフィードバックされた荷重と変位とし、プレストレス結合の場合には、柱先端に図-4に示すように取り付けられたロードセルによりPC鋼棒のプレストレス量の変化と、変位計により柱下端がフーチング部分から浮き上がった変位を測定した。なお、加力はアクチュエーターを反力壁側に固定し、供試体側をピンにして図-5に示すように緊結して載荷した。

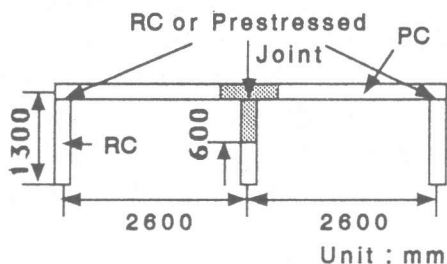


図-3 モデル構造物

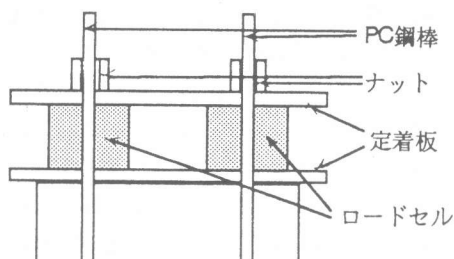


図-4 ロードセル設置状況

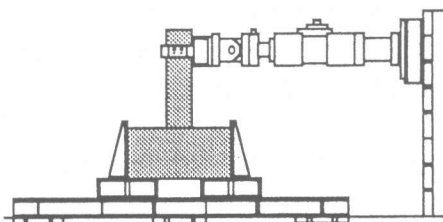


図-5 供試体設置状況

表-2 実験要因

| Specimen | Type of Specimen | Prestress(kN) |
|----------|-------------------------------------------|---------------|
| CLR-1 | RC | — |
| CLP-1 | Prestressed Joint ($\phi 9.2 \times 2$) | 41.2 |
| CLP-2 | Prestressed Joint ($\phi 13 \times 2$) | 82.3 |

4. 実験結果

4. 1 荷重-変位関係

図-6(a)にRC構造供試体による供試体CLR-1の正負交番載荷実験から得られた荷重-変位曲線を、図-6(b)にプレストレス結合構造供試体による供試体CLP-1の正負交番載荷実験から得られた荷重-変位曲線を、図-6(c)にプレストレス結合構造供試体による供試体CLP-2の正負交番載荷実験から得られた荷重-変位曲線を示す。

RC構造の場合にはエネルギー吸収が優れているため、CLR-1では履歴ループが囲む面積は非常に大きくなっている。しかしながら、CLP-1は履歴ループが囲む面積は非常に小さく、CLR-1に比べて変位は1/2程度であるにも関わらず、荷重はむしろ大きいことが分かる。また、履歴が正負対称ではなく、変位の負側に偏った形となっている。これは負側に変形するとき、柱部分とフーチング部分の接合面においてすべりが生じたため、同じ変位でも負側の復元力は小さいことが分かる。すべりが生じた原因としてプレストレスの導入をアンボンド式とし、接合面を平面としたこと、およびせん断スパン比などが挙げられる。また、アクチュエーターを反力壁側に固定したことで、その影響が加力のときに表れたため、結果として負側に偏った形になったものと思われる。

CLP-2においても、プレストレス量がCLP-1と比較して2倍であるにも関わらず、やはり接合部ですべりが見られ、CLP-1よりもすべり量が大いいために履歴ループは大きくなっている。しかしながら、CLR-1に比べて総変位量は小さいことがわかる。以上のことから、プレストレス量及びPC鋼棒の径を変化させることにより、変位はそれほど変化せず復元力のみが変化すること、また、すべりが履歴曲線に大きな影響を与えることが分かった。

4. 2 プレストレス量の変化

図-7(a)、(b)にCLP-1の供試体先端に取り付けたロードセルから得られたプレストレス量の変化の時刻歴を示す。(a)が供試体に向かって左側、(b)が供試体に向かって右側のロードセルである。接合部のすべりの影響を受けて、左側のPC鋼棒においては、プレストレスは変位の増加に従って増加しているが、右側のPC鋼棒においては、プレストレスは増加しないことが分かる。同様に図-8(a)、(b)にCLP-2から得られたプレストレス量の変化の時刻歴を示す。CLP-1と比較して左右のバランスが比較的均等であることが分かる。つまり、導入プレストレス量とPC鋼棒の断面積を増加させることにより、復元力の偏り、及び外力が作用したときのプレストレス量の変化に偏りがなくなることが分かった。

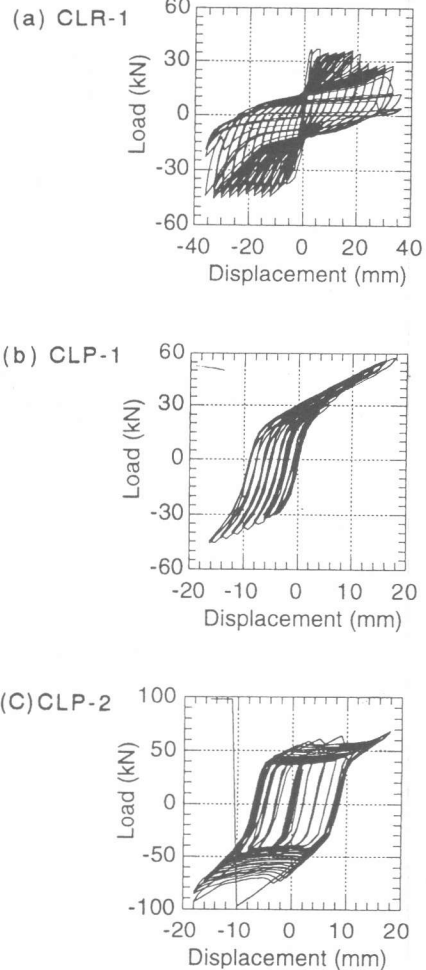


図-6 荷重-変位曲線

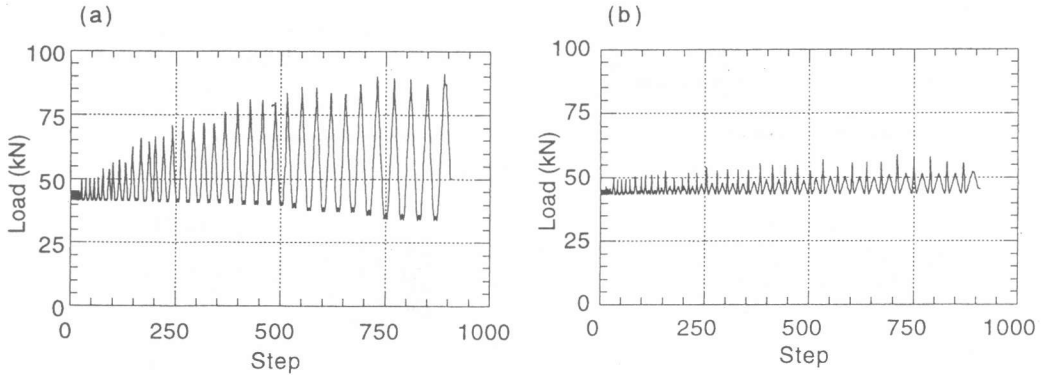


図-7 CLP-1 プレストレス量変化曲線

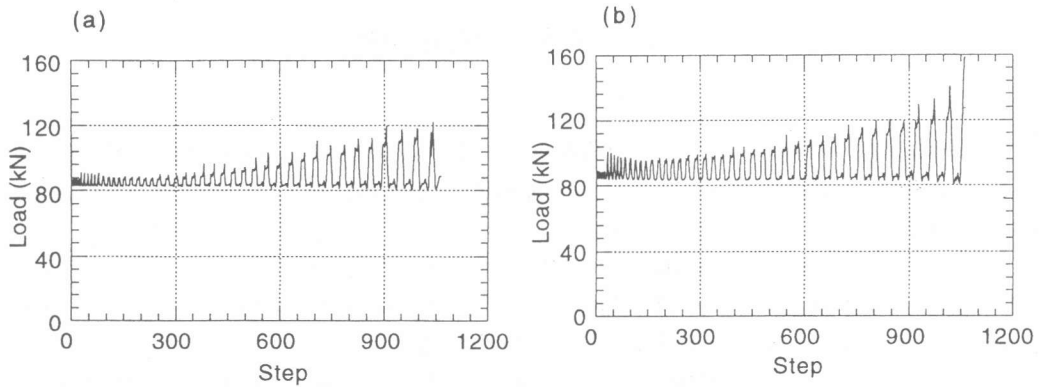
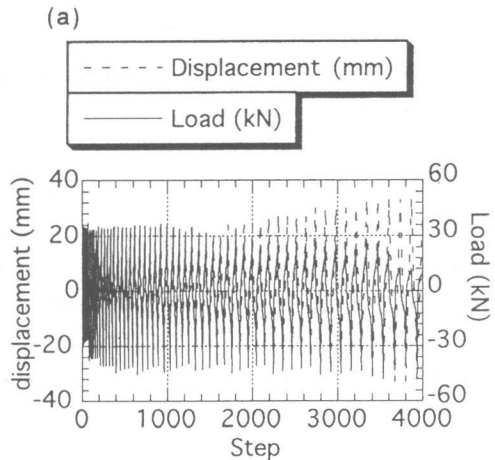


図-8 CLP-2 プレストレス量変化曲線

4. 3 破壊形式

図-9(a)、(b)、(c)に、それぞれCLR-1、CLP-1、CLP-2の命令変形量と応答荷重の時刻歴を示す。CLR-1では降伏後もある程度の耐力を保持しながら変位のみが増加し破壊した。しかし、CLP-1、CLP-2では、命令変形量と共に応答荷重も増加しており、非常に弾性的であることが分かる。その破壊形式は、CLP-1ではPC鋼棒の降伏によるものだけであったのに対し、CLP-2では、柱部分のコンクリートの圧壊が見られ、片振幅18mmの4回目のときに接合部が滑ることなくPC鋼棒のみで変形を負担したため、PC鋼棒が降伏荷重を越えて、柱部分下端のフーチング部分からの浮き上がり変位が急激に増加し危険な状態となった。



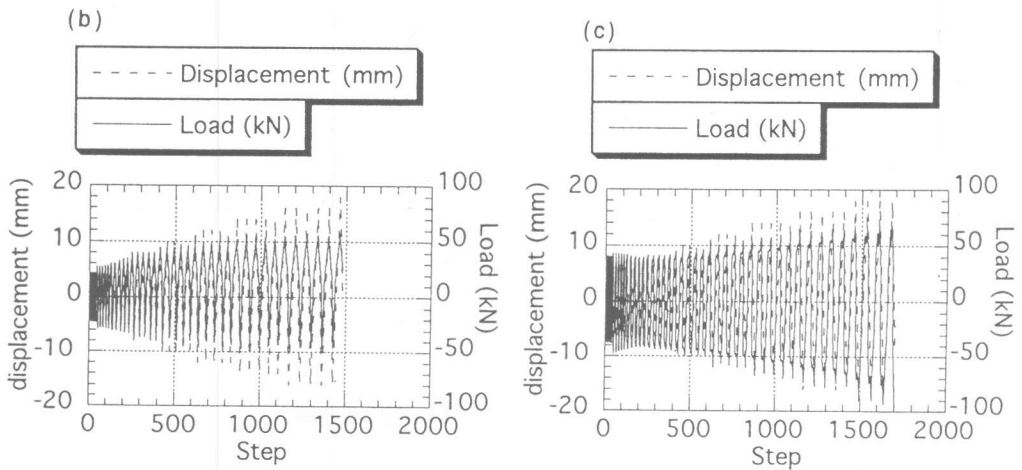


図-9 荷重、変位時刻歴曲線

5. まとめ

橋桁と橋脚上端の剛結部における、地震荷重のような繰り返し外力に対する基本的な性質を調べる目的で、RC構造、及びプレストレス結合により剛結された供試体を用いて正負交番載荷実験を行った。本研究の範囲から以下のことが分かった。

1. プレストレス結合による供試体では、柱部分とフーチング部分の接合部ですべりが生じ、その影響を受けて履歴曲線は大きなループを描くが、それ以外ではエネルギーを吸収できないため、大変形時の変形性能、及びエネルギー吸収はRC構造と比べて劣る。

2. プレストレス量によりその部材が繰り返し外力を受けるときの復元力特性、及び接合部のすべり量は大きく異なる。

3. RC構造は、降伏以降もある程度の耐力を保持しながら終局へと移行するが、プレストレス結合構造の場合では、その応答は弾性的であり、降伏以降はすぐに耐力を失い終局してしまう。破壊形式は圧縮破壊、もしくはPC鋼棒の終局にともなうもので、極めて脆性的である。

謝辞

実験の準備にあたり青森県庁松村明裕君（元卒論生）の協力を得た。ここに謝して、厚く御礼申し上げる次第である。

参考文献

- [1] 貞末和宏・睦好宏史・WilliamTANZO・町田篤彦：サブストラクチャー仮動的実験によるRC2層ラーメン橋脚の地震時弾塑性応答、コンクリート工学論文報告集、Vol.16、pp.1118-1124、1993.6
- [2] 神山貴男・睦好宏史・町田篤彦・WilliamTANZO：サブストラクチャー仮動的実験によるプレストレス結合複合橋梁構造物の地震応答性状、コンクリート工学論文報告集、Vol.17、No.2、1994.6（掲載予定）