

## プレキャスト PC 複合橋脚に関する基礎的研究

三井住友建設㈱	PC設計部	正会員	○鈴鹿 良和
三井住友建設㈱	技術研究所	正会員	浅井 洋
三井住友建設㈱	PC設計部	正会員	平 喜彦
三井住友建設㈱	PC設計部	正会員	春日 昭夫

### 1. はじめに

地震力を受ける橋脚などの柱部材は、エネルギー吸収能を高めたじん性のある RC 部材になるよう設計することが一般的である。このような部材では地震力によりかぶりコンクリートの剥離が生じた後、主筋の座屈に至り耐力を失う破壊形態をとる。一度損傷を受けた部材は再利用する場合、鋼板巻きたてやコンクリート増厚などの補強・補修による復旧が必要である。また、残留変位が大きな場合、元の位置に戻すなど再利用に際してはかなりの困難が予想される。

一方で近年、部材のエネルギー吸収能を犠牲にして、残留変位をできる限り小さくする PC 構造が提案されている。<sup>1),2)</sup> これらは地震後のリユースを念頭に置いて、できる限り補修・補強が少なくすむように設計することが可能である。しかしながらこれらの構造でも PC 鋼材は降伏を経験するため、低サイクル疲労を考えると追加鋼材などによって補強しなければならない可能性がある。

このような現状の中で、橋梁のライフサイクルコスト (LCC) は、地震に対して未だ議論が十分になされていないと言いき難い。建築においては、予想される最大の損失(補修費)／再構築費×100(%)で表される予想最大損失率(PML, Probable Maximum Loss)という概念を用いて建物の被害リスクを評価し、アセットマネジメントをおこなっている。そして、1981年の新耐震設計法以降の建物の PML は、一般に10～20%といわれている。<sup>3)</sup> したがって橋梁においても LCC の中にこのような考え方を取り入れて、コストを最小化することも可能と考える。つまり耐震設計において初期コストだけで決定するのではなく、地震後も道路としての機能は最低確保しつつ、復旧費用を最小におさえる設計思想が望まれるのである。

本論文は、地震後の残留変位をできる限り小さくして、また、リユースに際しての復旧費用を最小におさえる構造を提案するものである。

### 2. 新しい構造の考え方

地震後の残留変位を抑え、リユースを可能にする構造として、図-1に示すプレキャスト PC 複合橋脚 (Precast Prestressed Hybrid Pier 以下、P&PH 橋脚)を提案する。本構造は以下に示す特徴を有する。

- ・内側に鋼板、外側にコンクリートを合成した複合構造である。
- ・プレストレス力は外ケーブルで鋼板にのみ導入する。
- ・プレキャスト化したセグメントの鋼板の接合はメタルタッチとし溶接はしない。
- ・コンクリート部の目地は無収縮モルタルを注入し、圧縮側は複合部材とする。
- ・鋼板の接合部にはつなぎ材を配置する。
- ・地震後は、損傷を受けたつなぎ材を交換することにより橋脚の性能を復元する。
- ・せん断は鋼板のキーで抵抗させる。

一般に、プレキャスト PC 橋脚はコンクリート断面にプレストレスを導入するため、その導入量が大きくなり、初期コストの増大につながる。一方、P&PH 橋脚は鋼板にのみプレストレスを導入するため、その量が多くなりならない。また、圧縮側はコンクリートとの合成構造として抵抗するため、鋼板に過度の負担がかからない構造である。さらには、セグメント間の接合面には降伏部材として短い鉄筋をつなぎ材として配置し、鋼板は降伏させないが、つなぎ材を降伏させることである程度のエネルギー吸収も期待できる。以上より、ここ

で提案する P&PH 橋脚は、コンクリートの剥離もなく、鋼板は降伏せず、また、降伏部材の鉄筋は座屈長を短くすることで鋼材の座屈を発生させない、各々の材料の利点を最大限に利用した合理的な構造であるということがいえる。そして、もう一つの大きな特徴は、損傷を受ける部材を交換可能にし、少ないコストで再利用できるようにしたことである。

本研究では、P&PH 橋脚における耐震性能を把握することを目的として、正負交番載荷荷重に対する挙動と損傷部材交換後の挙動を確認するため模型実験を行った。

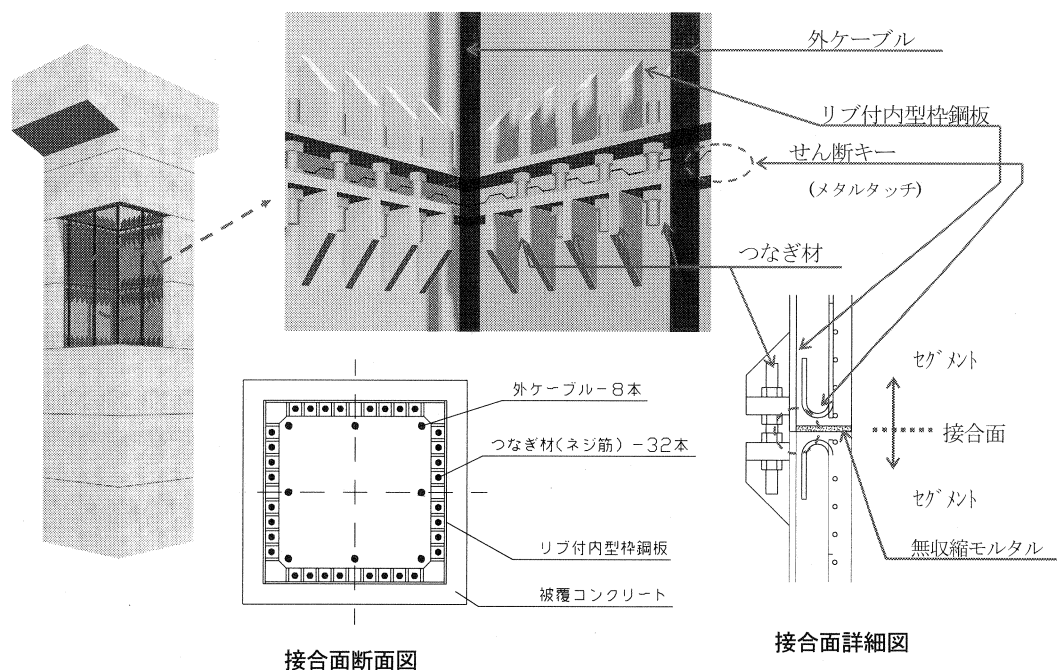


図-1 P&PH 橋脚の概要

### 3. 実験方法

#### (1) 供試体

供試体は、都市内高架橋を想定した P&PH 実橋脚モデル(幅 3.3m×3.3m, 橋脚高 14.0m, 上部工重量 8076kN, 外ケーブル 12S15.2-8 本)に対して 1/4 縮小モデルとした。本実験に用いた供試体を図-2 に示す。

橋脚部は 6 つのセグメント(幅 0.825m×0.825m, 高さ 0.500m、コンクリート厚 75mm)からなり、フーチング天端から載荷点までの高さは 3.250m である。コンクリート強度はセグメントに 60N/mm<sup>2</sup>、フーチングに 40N/mm<sup>2</sup> を用いた。内型枠鋼板は板厚 9mm (SM490 材) を使用し、セグメント間にはせん断キー(幅 20mm-36mm, 高さ 8mm) を設けてメタルタッチにより接合し、橋脚基部となる seg 1 ではフーチングに埋込み PBL によって接合した。外ケーブルは 8 本を中空部に全周配置し、つなぎ材は M16 の全ねじボルト (SS400 材) を全周に配置した。ここで、つなぎ材の断面積はレベル 1 地震動に対して許容応力度以下となるように、内型枠鋼板の板厚はレベル 2 地震動においても降伏しないように設定した。本供試体におけるフランジ 1 面当たりの鋼材断面積は、内型枠鋼板が 6075mm<sup>2</sup>、つなぎ材が 1256mm<sup>2</sup> となった。

また、橋脚基部の初期軸圧縮応力度は、実橋脚モデルにおいて初期プレストレス、上部工重量および橋脚重量を含めて 4.4N/mm<sup>2</sup> であった。

(2) 荷重ステップ

本構造は橋脚基部より先に接合面が終局に至るように設計しているため、正負交番荷重実験は接合面1の引張側つなぎ材が降伏する変位を基準 $\delta_y$ とし、その整数倍となる変位を正負3回ずつ荷重することとした。本実験において用いた荷重ステップ図を図-3に、実験状況を写真-1に示す。

また、地震損傷後の修復性について検証するため、まず1回目の正負交番荷重実験を行って供試体に地震による損傷を生じさせた後、つなぎ材のみを取替え、2回目の正負交番荷重実験を行うこととした。地震による損傷の再現は、接合面1のつなぎ材に着目して、その発生ひずみがあらかじめ行った動的解析における最大引張ひずみに達した状態とした。動的解析には、Ⅲ種地盤として兵庫県南部地震において神戸ポートアイランドで記録されたEW波を用いた。

4. 実験結果

1回目の荷重では、接合面1のつなぎ材が $2.4\delta_y$ 荷重時に今回設定した地震時損傷の基準ひずみに達した。そこで、その時点で1回目の荷重実験を終了し、つなぎ材を取替えた後、2回目の荷重実験を $8\delta_y$ まで行った。図-4に1回目と2回目の荷重-変位曲線を示す。

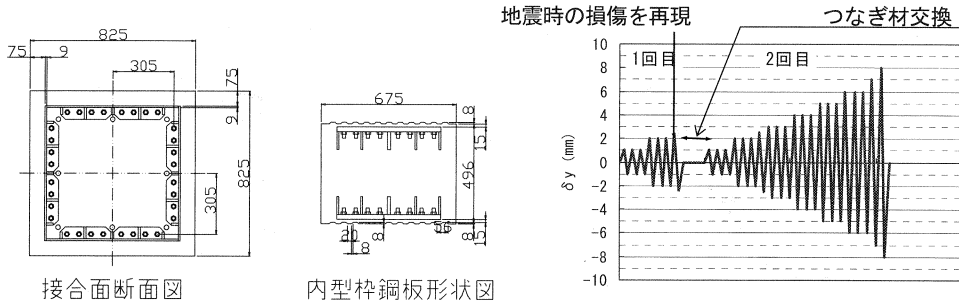


図-3 荷重ステップ図

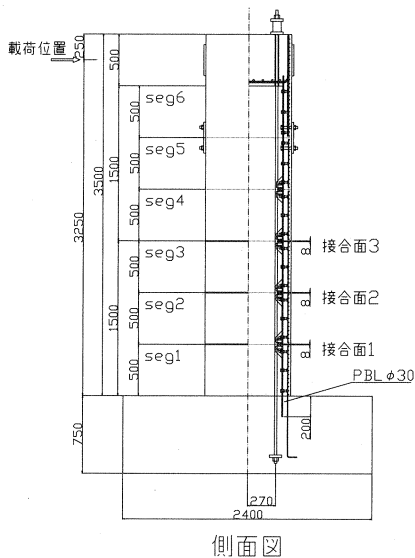


図-2 供試体

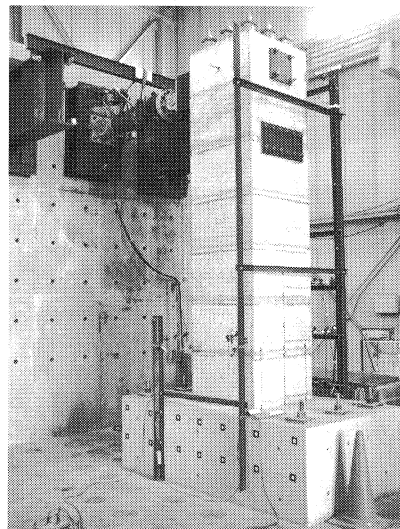


写真-1 実験状況

2回目の荷重においては、まず1  $\delta_y$ で橋脚基部に水平方向のクラックが生じ、2  $\delta_y$ に接合面1の目開きが発生した。4  $\delta_y$ で最大荷重となり、5  $\delta_y$ 荷重中に接合面1のつなぎ材が破断し始め、大きな荷重の低下がみられた。しかしその時点で、セグメントにかぶりコンクリートの大きな剥離はみられなかった。7  $\delta_y$ には接合面1の載荷面に設置された16本全てのつなぎ材が破断し、それ以降荷重の低下量は小さくなった。その後も荷重を進めたが、接合面1以外の接合面で大きな目開きはみられなかった。また、橋脚基部にも大きな損傷はみられず、本構造は接合面1に損傷が集中する構造であることが分かった。接合面1と接合面2の目開き量を図-5に示す。

荷重-変位曲線に着目すると、除荷時の原点志向性が強く、本構造は他のPC構造と同様に残留変位の抑制できる構造といえる。また、本供試体ではつなぎ材が除荷時に圧縮力を受け持たないようにしたため、この点を変更することにより、つなぎ材の履歴ループによるエネルギー吸収を期待できる構造とすることも可能であると考えられる。

また修復性については、1回目と2回目の荷重-変位曲線に大きな違いは見られないため、本構造は地震を受けつなぎ材が損傷しても、それを交換することにより、橋脚の耐荷性能を復元できる構造といえる。

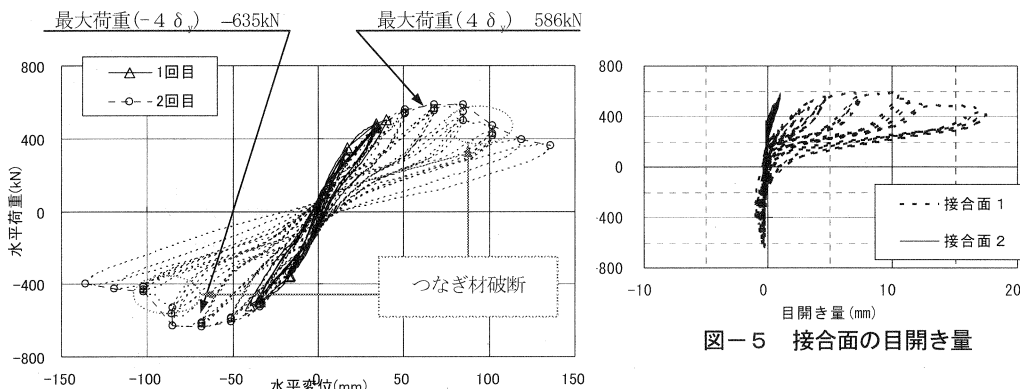


図-4 荷重-変位曲線

図-5 接合面の目開き量

### 5. まとめ

今回提案したP&PH橋脚に対する本研究のまとめを以下に示す。

- (1) P&PH橋脚は他のPC構造と同様に地震時の残留変位を抑制することができる。また、橋脚基部にクラックは発生するものの、損傷をセグメント接合面に制限することができた。
- (2) 地震により損傷を受けても、つなぎ材を交換することにより耐荷性能の復元が可能となった。

今後は、つなぎ材に圧縮力を受け持たせてエネルギー吸収能を大きくするなど、性能の向上を図りつつ、設計手法の確立を目指して研究を進めていく予定である。

### 参考文献

- 1) プレストレストコンクリート技術協会：プレストレストコンクリート橋脚の耐震設計ガイドライン，1998.11
- 2) 西山峰広：ニュージーランドとアメリカにおけるPC圧着工法，プレストレストコンクリート Vol.145, No.4, pp. 28-33, 2003
- 3) (社)日本建築構造技術者協会：地震リスクと予想最大損失率(PML)，[http://www.jasca.or.jp/vol12/15tec\\_terms/200409/20040929.html](http://www.jasca.or.jp/vol12/15tec_terms/200409/20040929.html), 2004.10