

PC連続ラーメン橋の上部構造の耐震性に関する一検討

二階堂輝幸¹・角本周²

¹正会員 オリエンタル建設(株) 技術部研究員 (〒102 千代田区平河町 2-1-2)

²正会員 工修 オリエンタル建設(株) 技術部主任研究員 (〒102 千代田区平河町 2-1-2)

1. はじめに

平成8年改訂の道路橋示方書¹⁾では、ラーメン橋にRCラーメン橋脚に対する地震時保有耐力法の規定を準用する場合には、はり部材に相当する上部構造が初降伏に達してはならないと解説され、さらに、はり部材にプレストレスを導入している場合は塑性ヒンジが生じることは避けるのがよいと記述されている。一方、改訂前の道路橋示方書²⁾では、終局荷重作用時の荷重組合せにおいて震度法で考慮する地震力に係数1.3を乗じた値を考慮し、部材の終局曲げ耐力と比較して上部構造の安全性を照査している。よって、平成8年の改訂で従来より終局状態で考慮する地震力が大きくなり、かつ、許容される損傷程度が小さくなったことから、上部構造自体の非線形性の影響を考慮しなければ鋼材量が従来に比べて大幅に増加する場合がある。

しかしながら、上部構造にまで非線形モデルを用い

ると、設計パラメータが多く耐震設計が非常に煩雑なものとなる。そこで、簡便かつ合理的な上部構造の耐震設計方法を提案する第一段階として、本研究では、PC連続ラーメン橋を対象に上部構造の橋軸方向の耐震性と橋脚剛性の関係について検討した。

2. 検討対象橋梁

検討は、図-1に示す中央径間140mのPC3径間連続ラーメン橋を対象として行った。ここで、桁高や中央間長に対する側径間長の比率等は既往のPC連続ラーメン橋の平均値を用いて設定し³⁾、また、上部構造に配置されるPC鋼材は、地震の影響を含まない設計荷重作用時の荷重組合せに対してコンクリートの引張応力度が最大1.0MPa程度となるように配置した。なお、本研究では、耐震設計上の地盤種別としてはI種地盤を想定した。

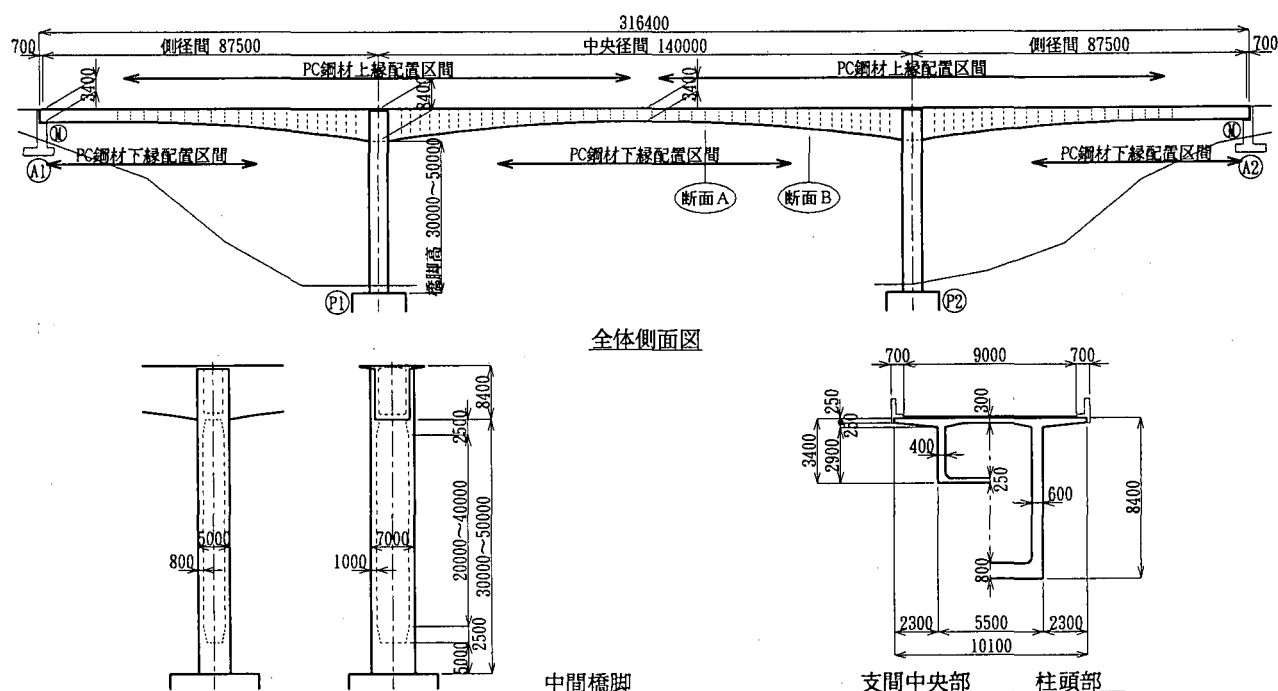


図-1 検討対象橋梁

3. 解析モデルおよび解析パラメータ

(1) 解析モデルおよび解析方法

解析モデル(図-2)は、本研究では上部構造の耐震性に着目することから、上部構造の要素分割を耐震設

計で用いる一般的なモデルよりも細分化し、一方、橋脚は橋脚上下端の塑性ヒンジを表す非線形回転バネでのみ非線形性を考慮することとした⁴⁾。また、解析方法は、上部構造および橋脚に一樣な水平震度を漸増載荷する非線形静的解析により行った⁴⁾。

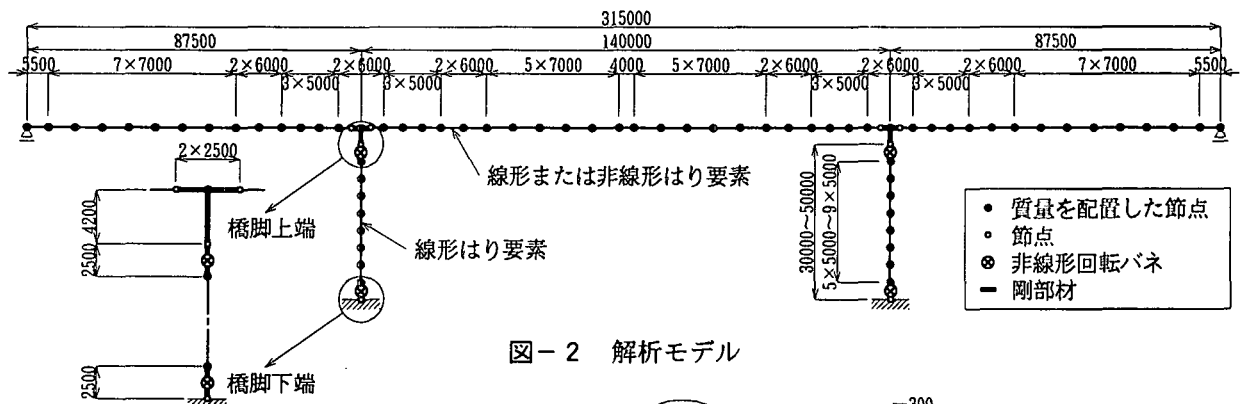


図-2 解析モデル

(2) 上部構造の断面特性

上部構造は線形または非線形はり要素でモデル化し、部材剛性は、線形はり要素では総断面に対する値を用い、非線形はり要素では図-3に示す鉄筋配置に対する曲げモーメント-曲率関係より設定した。

図-4に、一例として、図-1の断面A, B位置における曲げモーメント-曲率関係を示す^{1, 5)}。非線形はり要素は、P C鋼材を引張縁側に配置している場合は「ひびわれ-鉄筋初降伏」と「ひびわれ-P C鋼材弾性限界」の剛性がほぼ等しいことから「0-ひびわれ-P C鋼材弾性限界-終局」を結ぶトリニアモデルでモデル化し、一方、配置していない場合は「0-ひびわれ-鉄筋初降伏-終局」を結ぶトリニアモデルでモデル化した。また、応答曲げモーメントは、P C鋼材を引張縁側に配置した場合、その弾性限界までは弾性的な復元特性となるものと考えられることからP C鋼材弾性限界まで許容することとし、配置していない場合は鉄筋初降伏までを許容することとした。

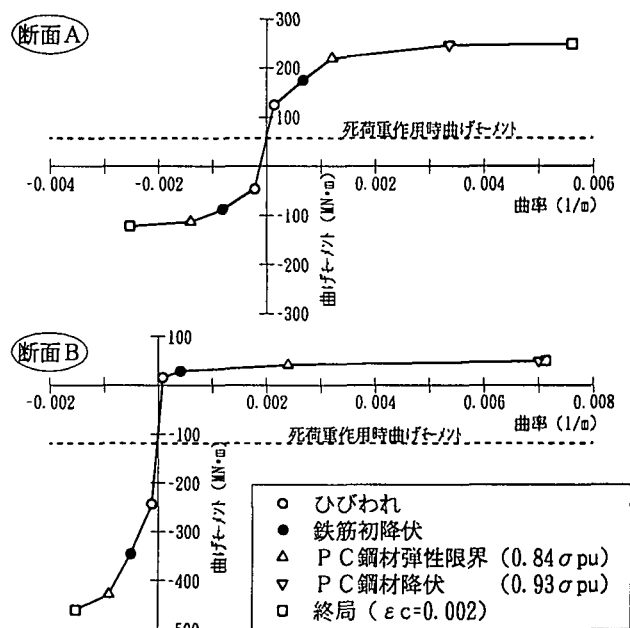


図-4 上部構造の曲げモーメント-曲率関係

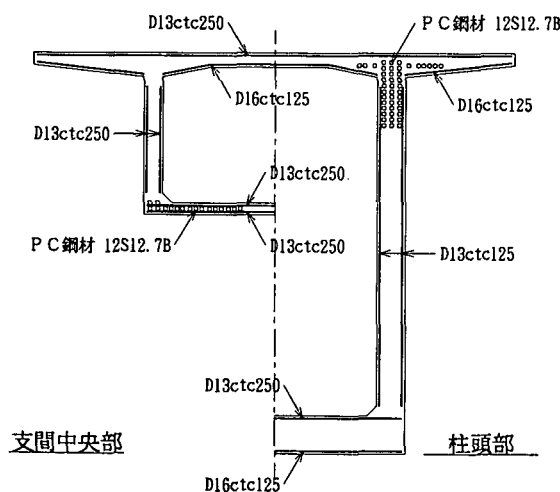


図-3 上部構造の標準的な鉄筋配置

(3) 橋脚の解析パラメータ

橋脚の塑性ヒンジを表す非線形回転バネは、降伏剛性を初期剛性とする完全弾塑性モデルとした。モデルのパラメータは、図-5に示す震度法で決定された鉄筋配置より設定される値を標準とし、橋脚の断面特性が上部構造の耐震性に与える影響を検討するために、

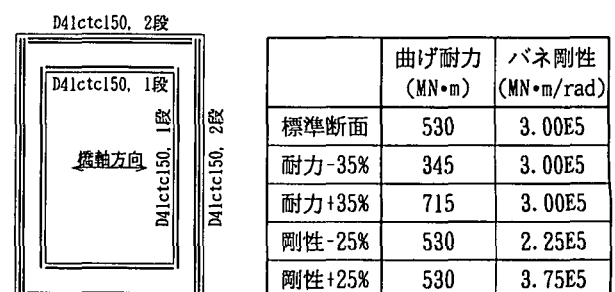


図-5 標準断面の鉄筋配置と解析パラメータ

曲げ耐力および初期剛性を増減させ解析ケースを設定した。ここで、曲げ耐力および初期剛性の増減は、鉄筋径で1~2ランク、橋脚寸法で1m 程度の変更を想定している。なお、塑性ヒンジ領域以外の線形はり要素の部材剛性は、部材総断面に対する値を用いた。

4. 解析結果

(1) 橋脚剛性が上部構造の耐震性に与える影響

図-6に、平成8年改訂前の道路橋示方書²⁾に基づき、地震の影響を含む終局荷重作用時の荷重組合せに対して上部構造の安全性を照査した結果を示す。検討対象橋梁では、橋脚高が異なる場合でも終局荷重作用

時の曲げモーメントに有意な差は生じなかった。

図-7に、上部構造を線形はり要素でモデル化し、橋脚高、断面耐力および断面剛性を变化させた各解析ケースにおける橋梁全体系が終局時（塑性ヒンジのうち1箇所が終局状態）に達するまでの上部構造の最大曲げモーメント分布を示す。なお、最大曲げモーメントは必ずしも橋梁全体系の終局時に生じておらず、部分的には3箇所の塑性ヒンジが降伏状態に達した点で生じている。

上部構造の最大曲げモーメントは、橋脚高が低いほど若干増加する傾向にあるものの、断面剛性を含めて橋脚の剛性に影響されない結果となった。一方、橋脚の断面耐力の影響は、橋脚上端の断面耐力が低いと上

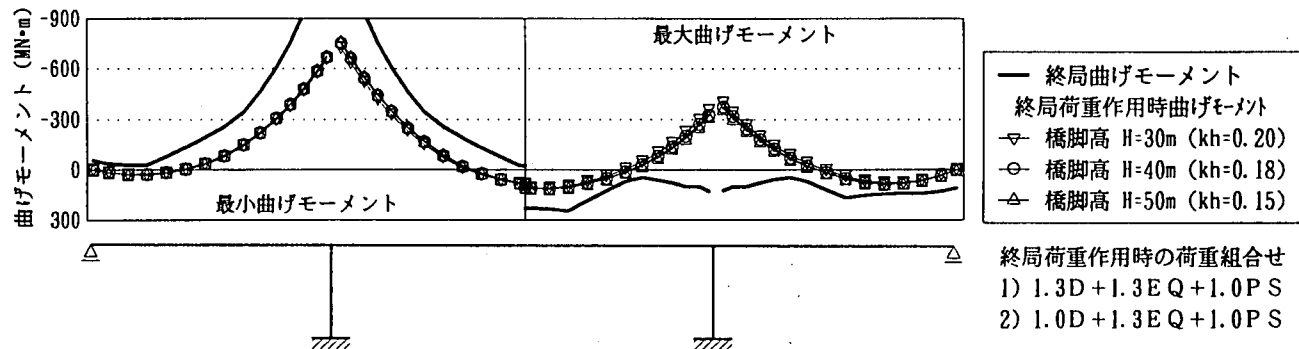


図-6 平成8年改訂前の道路橋示方書による終局荷重作用時の照査結果

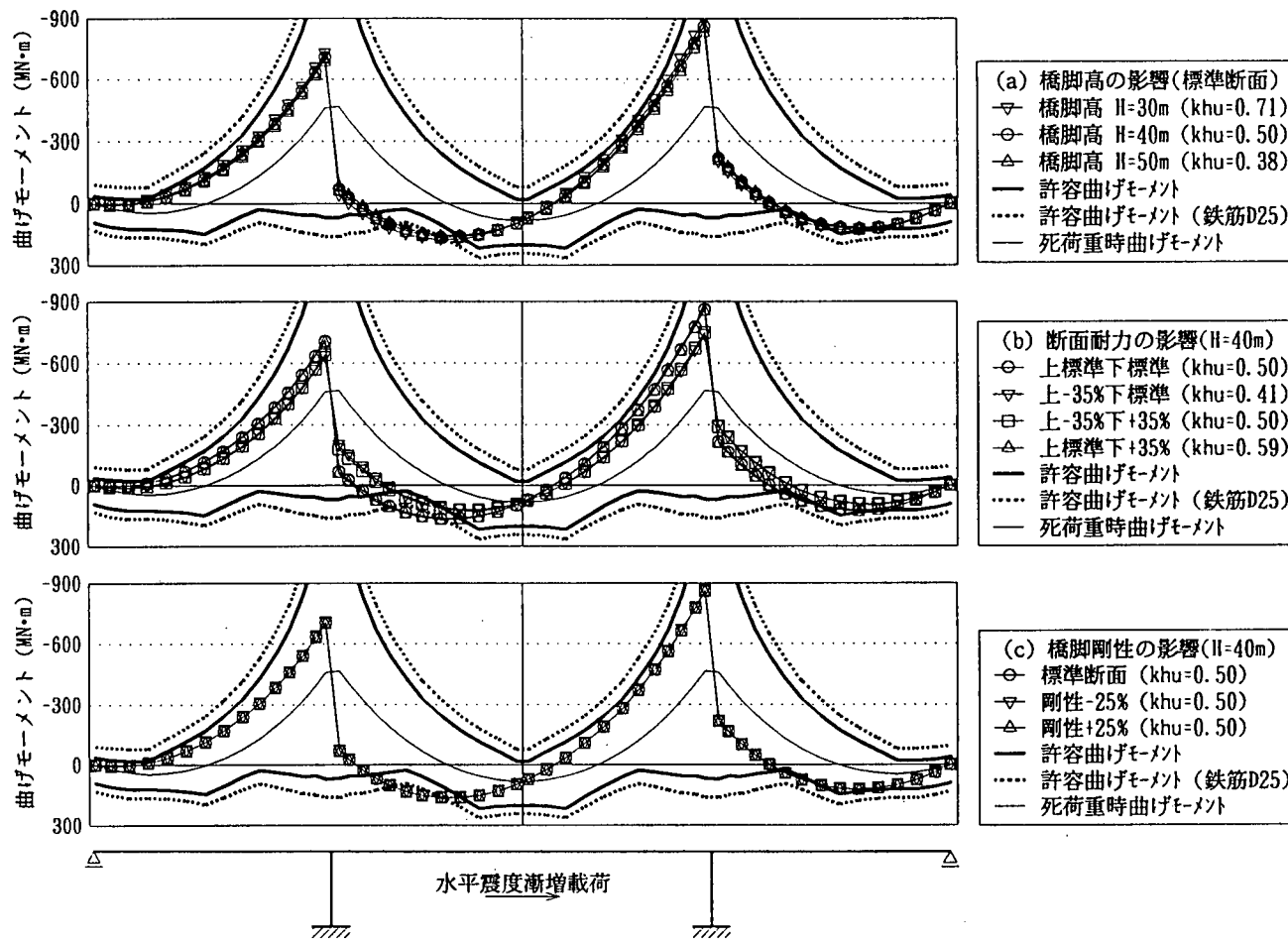


図-7 橋脚剛性と上部構造の最大曲げモーメント

部構造の最大曲げモーメントは小さくなり、死荷重作用時の曲げモーメントからの増分は橋脚上端の断面耐力の低下とほぼ等しい30%程度低減されている。

最大曲げモーメントと許容曲げモーメントを比較すると、死荷重作用時のインフレクションポイント付近において、いずれの解析ケースでも許容曲げモーメントを超過する。図中に、施工性から最大可能と考えられる鉄筋配置として上下フランジの鉄筋を D25 $\times$ tcl25 とした場合の許容曲げモーメントを付記する。この鉄筋配置でも橋脚上端の断面耐力を低減したケースを除き許容曲げモーメントを超過しており、線形はり要素を用いた解析では、従来の上部構造に比べてインフレクションポイント付近の必要鉄筋量が大幅に増加する結果となった。

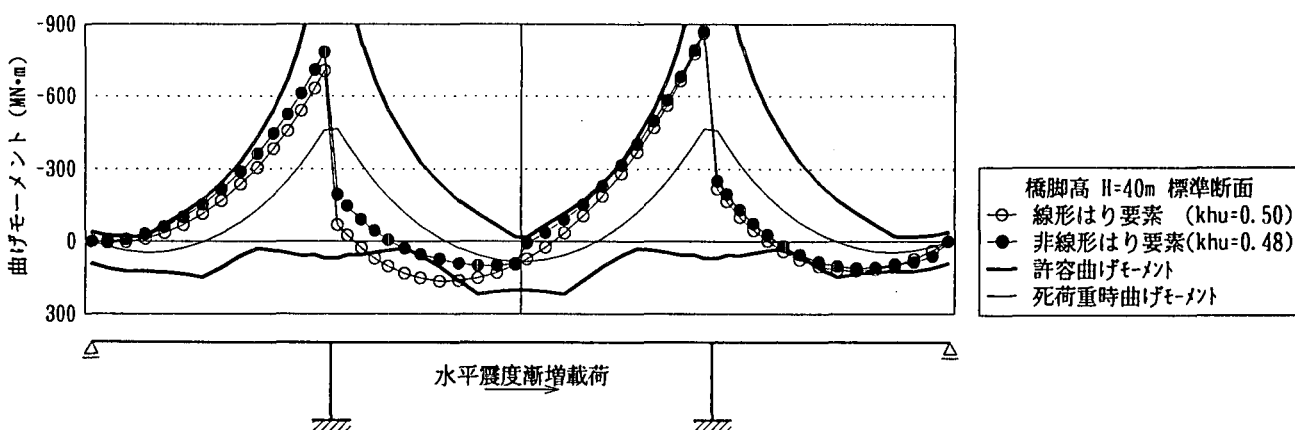


図-8 上部構造を非線形はり要素でモデル化した場合の最大曲げモーメント

5. まとめ

本研究では、地震時保有耐力法レベルの地震動に対するPC連続ラーメン橋の上部構造の耐震性に着目して検討を行った。その結果をまとめると、次のとおりである。

(1) 上部構造の最大曲げモーメントは橋脚上端の断面耐力に依存し、一方、橋脚剛性の影響はほとんど受けない結果となった。

(2) 上部構造を線形はり要素でモデル化して解析した場合、上部構造の最大曲げモーメントは死荷重作用時のインフレクションポイント付近で許容曲げモーメントを超過し、必要鉄筋量が従来に比べて大幅に増加する結果となる。

(3) 上部構造を非線形はり要素でモデル化して解析した場合、上部構造の最大曲げモーメントは許容曲げモーメントを満足しており、従来の鉄筋配置程度で地震時保有耐力レベルの地震動に対して安全性を確保できる結果となった。

以上、PC連続ラーメン橋の上部構造の耐震性について静的解析により基本的な検討を行ったが、上部構

(2) 上部構造の非線形性の影響

図-8に、上部構造を非線形はり要素でモデル化した解析モデルにおいて、橋梁全体が終局時に達するまでの上部構造の最大曲げモーメント分布を示す。上部構造は、ひびわれ発生後に剛性が5~20%まで低下することから、最大曲げモーメントはインフレクションポイント付近においても鉄筋初降伏またはPC鋼材弾性限界で設定した許容曲げモーメントを満足する結果となった。

なお、上部構造に線形はり要素を用いた場合には、橋梁全体が終局時に達する前に橋脚上端の両塑性ヒンジは降伏状態に達したが、非線形はり要素を用いた場合には、橋脚上端のいずれの塑性ヒンジも降伏状態には達しなかった。

造の地震の影響による断面力は、静的解析による結果と動的解析による結果とで傾向が異なる場合がある。

よって、今後は動的解析による検討を含め、PC連続ラーメン橋の上部構造の耐震性に関して総合的に検討していく予定である⁶⁾。

参考文献

- (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説，Ⅴ耐震設計編，pp.147-156，1996.12.
- (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説，Ⅲコンクリート橋編，pp.109-110，1994.2.
- (財)高速道路調査会：PC橋の新しい構造事例に関する調査研究－PC多径間連続橋に関する調査研究－，1996.3.
- (財)土木研究センター：耐震設計ソフトウェアに関する研究委員会報告書，pp.217-236，1997.5.
- 松本公典：RC、PC および PRC 部材のモーメントー曲率関係とその応用，土木学会論文報告集，第331号，pp.155-165，1983.3.
- 保坂勲，睦好宏史，稲田文展，Wael ZATAR：プレストレストコンクリート高架橋におけるPC桁の地震応答性状，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.19，No.2，pp.159-164，1997.6.