

PCラーメン橋の耐震設計に関する検討

松浦功¹・徳川和彦¹・塩谷浩英²・金子雅明²

¹正会員 パシフィックコンサルタンツ(株) 中部本社第一技術部 (〒451-0046 名古屋市西区牛島町2番5号)
²パシフィックコンサルタンツ(株) 中部本社第一技術部 (〒451-0046 名古屋市西区牛島町2番5号)

1. はじめに

平成8年改訂の道路橋示方書では、PCラーメン橋に対する地震時保有水平耐力法の適用と動的解析による照査が規定されている。参考文献²⁾の資料で設計計算例が示されているが、実際の設計計算においては、特に上部構造(PC部材)のクリープ・乾燥収縮が全体構造系に与える影響や設計時の上部構造の剛性評価などの問題があり、これからの課題点も多いものとする。

本稿では、PCラーメン橋の下記の課題についてケーススタディを行った。

- (1) 橋軸方向(面内モデル)の地震時保有水平耐力法による耐震設計を行う場合に、初期不静定力が構造系全体に与える影響評価
- (2) 橋軸方向(面内モデル)の地震時保有水平耐力法と非線形時刻歴応答解析による上部構造への応答値の比較

2. 対象橋梁と基本条件

(1) 対象橋梁

対象橋梁は、図-1に示すPC6径間ラーメン橋(L=55+4×90+55=470)とする。5剛結構造とすることは、橋脚高のバランスより構造上好ましくないことから、3剛結構造として、(A1, P2, P5, A2)は可動支承構造を採用している。耐震設計上の地盤種別はI種地盤としている。

(2) 基本条件

使用材料は、下記のとおりとする。

表-1 使用材料

部材	コンクリート	鉄筋	PC鋼材
上部構造	40N/mm ²	SD295	SWPR7BL 19S15.2
下部構造	24N/mm ²	SD345	-

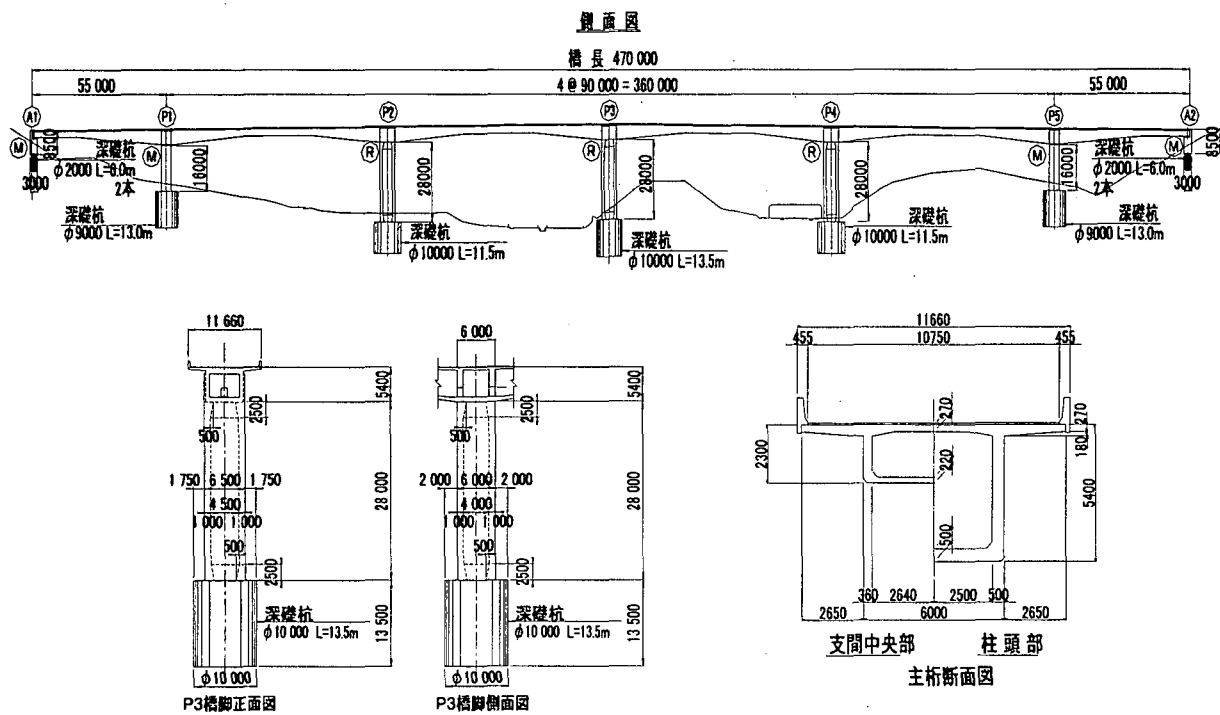


図-1 解析対称橋梁

3. 初期不静定力が構造系に与える影響について

構造部材の解析モデルは表-2に示すように設定した。

(1) 設計手順

①全体平面骨組モデルで、橋脚及び上部構造の基本的断面を決定する。

②①の断面にて、常時の地盤バネにおける基礎バネを用いたモデルにおいて、不静定力の算出を行う。

- CASE1 不静定力を無視した場合
- CASE2 施工段階を考慮して算出した不静定力を考慮した場合

③全体系モデルにおいて初期断面力を与えた上で、地震力をPushoverにて解析し、水平震度-変位関係を把握し、全体系等価震度をCASE1, CASE2それぞれで求める。

④③により求めた等価水平震度作用時における上部構造の曲げモーメント図をCASE1, CASE2それぞれで求める。

(2) 解析モデル条件

上部構造部分の部材分割は、標準部は3～4m程度とし、支間中央および剛域は、細かく分割（最小1.3m）した。下部構造の部材分割は、上下端に塑性ヒンジを設け、それ以外は上下端に行くほど細かい分割（最小0.7m）とした。図-2に解析モデルを示す。

表-2 構造部材の解析モデル

構造部材		解析モデル
上部構造		線形梁要素（弾性剛性）
下部構造	上端、下端	非線形回転バネ（バイリニア）
	上記以外	非線形梁要素（バイリニア）

注) 上部構造の剛性は、コンクリート全断面有効とみなして算出した弾性剛性を用いた。なお、地震力はタイプⅡについて検討するものとする。軸力変動の影響は考慮しない。

(3) 不静定力による初期断面力結果

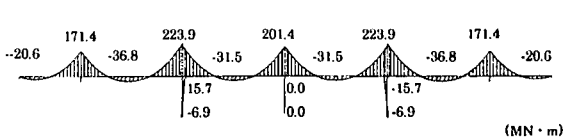


図-4 CASE1 初期曲げモーメント図（不静定力無視）

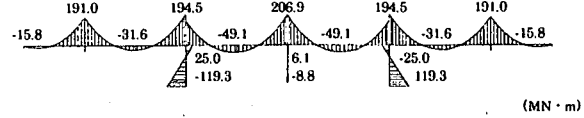


図-5 CASE2 初期曲げモーメント図（不静定力考慮）

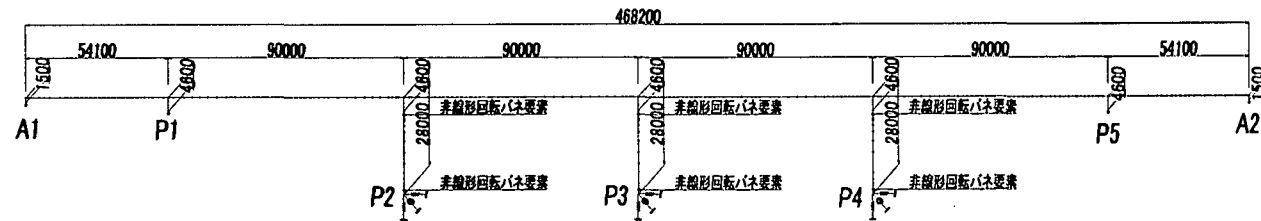


図-2 解析モデル

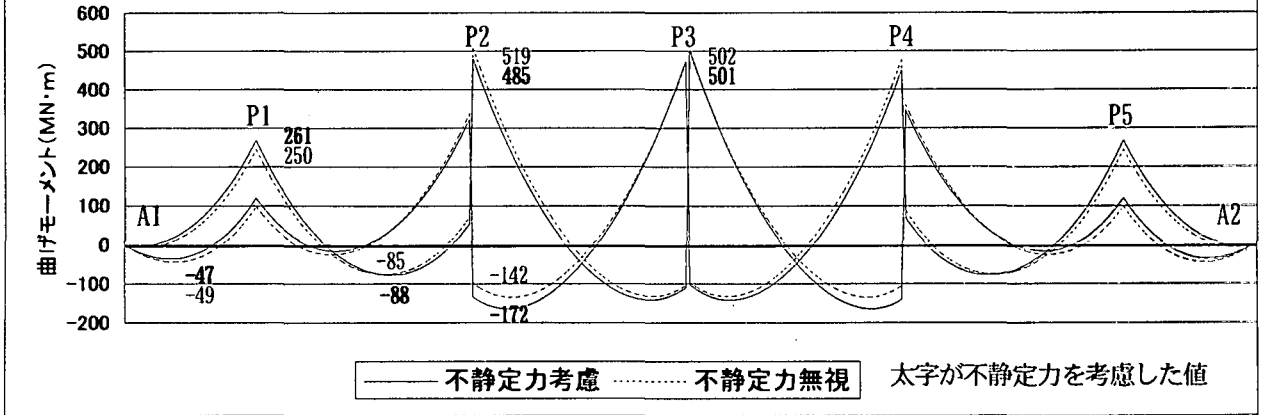


図-3 不静定力の有無による上部構造曲げモーメントの比較

(4) kh- δ 関係

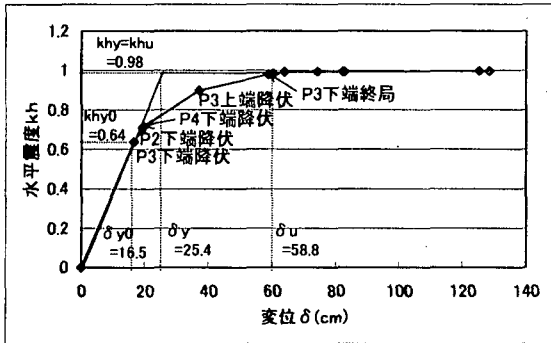


図-6 CASE1 水平震度-変位関係 (不静定力無視)

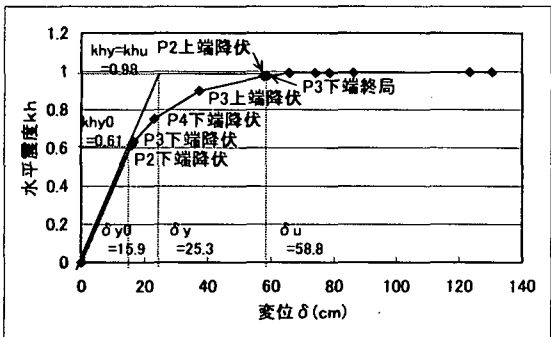


図-7 CASE2 水平震度-変位関係 (不静定力考慮)

(5) 保耐法タイプIIの結果

表-3 保耐法の安全性の判定

		CASE1	CASE2
固有周期	T (s)	1.007	1.007
設計水平震度	k _{hc}	1.229	1.229
許容塑性率	μ_a	1.882	1.877
等価水平震度	K _{he}	0.739	0.740
終局水平震度	K _{hu}	0.977	0.979
判定		OK	OK
残留変位	δ_R (m)	0.04	0.04
許容残留変位	δ_{Ra} (m)	0.33	0.33
判定		OK	OK

(6) 考察

1) 仮定条件の整理

kh- δ における定義は下記のとおり。

ラーメン橋の降伏、終局の定義は、複数の塑性ヒンジのうち、1つが降伏すると降伏、1つが終局すると終局とした。

2) kh- δ について

CASE1, CASE2 の結果を比較すると、CASE1 ではP3 橋脚下端が最初に降伏する。CASE2 ではP2 橋脚下端が最初に降伏する。また、両ケースともにP3 橋脚下端が最初に終局

する。CASE2 は不静定力による初期曲げモーメントの影響でP2 橋脚が最初に降伏するが、地震による水平力をP3 橋脚が多く受け持つため、両ケースともにP3 橋脚下端が最初に終局する。

エネルギー一定則を適用するために、水平震度-変位関係をバイリニアに変換すると、両ケースで相違は見られず、安全性の判定においても相違はなかった。これは解析対称橋梁が剛結橋脚を奇数本有する左右対称形であるからであり、不等径間、不等高さの橋脚を有するラーメン橋においては、不静定力を考慮した場合と無視した場合で結果に相違が生じるものと思われる。

3) 上部構造の曲げモーメント比較について

不静定力の影響がある固定支間 (P2~P4) の正曲げの応答値がCASE1 よりもCASE2 の方が大きい。保耐法において上部構造の設計は、応答値が初降伏曲げモーメントを超えないように設計するが、不静定力を無視して設計を行うと危険側の設計になるため、不静定力を無視してはならないと思われる。

4. 保耐法と動的解析における上部構造応答値の比較について

(1) 保耐法の結果について

3. の項目で算出された応答値とする。

(2) 固有値解析

動的解析に先行して、固有値解析を行った。その結果は下記のとおり。

表-4 橋軸方向の固有値解析結果

次数	固有振動数 (Hz)	固有周期 (s)	有効質量率 (%)	累積有効質量率 (%)
1	1.142	0.876	53	53
2	1.461	0.685	0	53
3	1.559	0.642	18	71
4	2.097	0.477	0	71
5	2.226	0.449	0	71

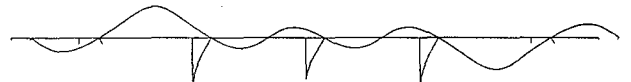


図-8 モード図 (1次モード)

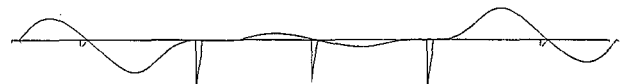


図-9 モード図 (3次モード)

(3) 動的解析の結果について

・モデル化

部材分割は、3. の保耐法と同様とした。ただし、構造部材の解析モデルは表-5のように設定した。

表-5 構造部材の解析モデル

構造部材		解析モデル
上部構造		線形梁要素 (弾性剛性)
下部構造	上端, 下端	非線形回転バネ (トリリニア)
	上記以外	非線形梁要素 (トリリニア)

注) 上部構造の剛性は、コンクリート全断面有効とみなして算出した弾性剛性を用いた。なお、地震力はタイプⅡについて検討するものとする。軸力変動の影響は考慮しない。

- ・入力地震動 タイプⅡ標準波形3波平均
- ・減衰条件

表-6 減衰定数

	減衰定数
上部構造	10%
橋脚	2%
基礎	20%

曲げモーメントは、3波の最大値を包絡したものとす。比較した結果を図-10に示す。

(4) 考察

固定支間 (P2~P4) は、両ケースが比較的一致しているが、A1 橋台~P2 橋脚、P4 橋脚~A2 橋台の支承構造の橋脚を挟んだ支間については、正曲げ、負曲げともに動的解析の応答値の方が保耐法の応答値よりも大きい。

モード図より、卓越モードにおいて支承構造の橋脚を挟んだ支間の変形が、固定支間の変形よりも大きい。

このことから、動的解析においては、保耐法と比較すると、支承構造の橋脚を挟んだ支間の応答が大きくなる傾向があることがわかる。

5. まとめ

本稿では、PCラーメン橋の橋軸方向における2つの検討を行った。その結果は次のとおり。

(1) 初期不静定力 (クリープ、乾燥収縮) の全体系に与える影響についてケーススタディを行った結果、初期応力で比較的影響の少ない中央橋脚の下端が最速で降伏する構造系においては、全体系における許容塑性率に与える初期不静定力の影響は少ないことが判った。したがって、ラーメン橋の塑性ヒンジの降伏及び終局の状況を先に把握することで、初期不静定力算出を待たずに保耐法の結果を想定することが可能である。

保有耐力時における上部構造への応答曲げモーメントは、初期不静定力の影響を大きく受ける。従って、上部構造の設計上は、不静定力を慎重に取り扱う必要がある。

(2) Pushover 解析による保有耐力法と動的解析における上部構造の応答曲げモーメントを比較した結果、ラーメンを構成する剛結合区間の上部構造の応答値は、精度良く一致することが判った。これより、保有耐力法におけるエネルギー一定則が適用しやすい一次モード卓越の構造系であると考えられる。本ケーススタディでは、両端に支承構造の橋脚を配置したが、その部分では、上部構造と下部構造がピン結合となるために、特異な挙動となり、上部構造における保耐法応答値と動的解析応答値に差異が生ずる結果となった。

参考文献

- 1) (社) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅴ 耐震設計編、平成8年12月
- 2) (社) 日本道路協会：道路橋の耐震設計に関する資料、平成10年1月

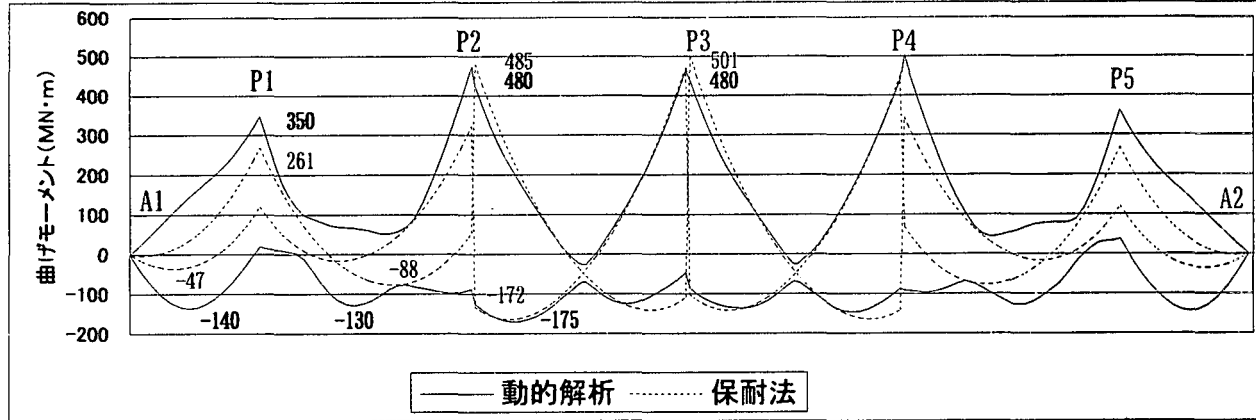


図-10 保耐法と動的解析における上部構造応答値の比較