

けた端部の衝突による悪影響について

大下角治¹・山本健二²・松島秀夫³・近藤健太郎⁴・大澤昭彦⁵

¹建設省 浪速国道工事事務所 工務課長 (〒 573 枚方市南中振3-2-3)

²建設省 浪速国道工事事務所 設計第一係長（同上）

○³正会員 大日コンサルタント(株)構造部(〒500 岐阜市藪田南3-1-21)

⁴大日コンサルタント(株)構造部(同上)⁵大日コンサルタント(株)構造部(同上)

1. まえがき

PRC5径間連続ラーメン橋とPC5径間連続ラーメン橋を非線形動的解析により設計したので、設計事例として紹介する。

この時、問題となったのは桁端の遊間をどの程度確保すべきかである。道路橋示方書の質問・回答集には、けた端部における2つの設計振動単位の衝突により相互に悪影響を及ぼさないことを検討するのがよいと記されている。平成8年道路橋示方書では、限定された損傷にとどめることを目標としている。

著者らは、ある程度の遊間を確保しておけば衝突が生
じて、弾性棒の衝突による応力波のような反発力が生
じるのではなく、互いの衝突エネルギーは、下部工の変
位・支承の変位による吸収と上部工のコンクリートの衝

突による局部破壊（特に表面破壊）による吸収により無視できると推定した。

2. 桥梁概要

本橋の橋梁概要を表-1に、全体一般図を図-1に示す。連続ラーメン橋の耐震設計フローを図-2に示す。フローは橋の供用期間中に発生する確率が高い地震動に対しては震度法により設計する。橋の供用期間中に発生する確率は低いが大きな強度をもつ地震動に対しては以下のように設計する。

平成8年12月の道示では、ラーメン橋についても震度法に加えて地震時保有水平耐力法による設計法が規定された。

地震時保有水平耐力法は、構造物の非線形域の変形性

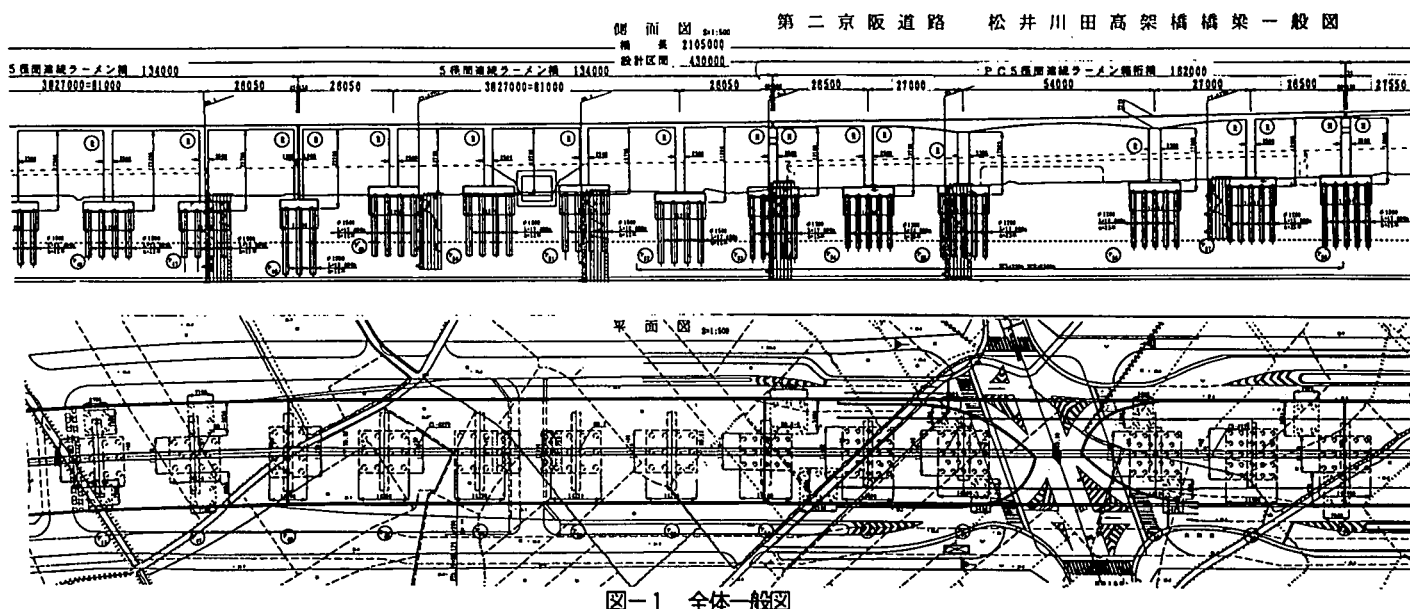


图-1 全体一般图

能や動的耐力を考慮して地震による荷重を静的に作用させて設計する方法である。

しかし、ラーメン橋のような不静定次数の高い構造物では、地震時保有水平耐力法の解析プログラムが完備されていない状況であるとともに、塑性ヒンジが複数箇所に想定され、生じる位置もはっきりしない等地震時の挙動が複雑な橋と考える。

このため、道示V耐震設計編第6章により、非線形動的解析（直接積分法による時刻歴応答解析）にて設計する。

なお入力地盤として、土研よりFDで提供された振幅調整済みの強震記録を使用している。本設計では、Ⅱ種地盤として、タイプⅠ、タイプⅡの地震に対してそれぞれ3波ずつ合計6波を考慮している。

3. 時刻歴応答解析

動的解析方法は、2次元多質点系の材料非線形を考慮した剛性マトリックス法による時刻歴応答解析（直接積分法）を使用する。数値積分法はNewmark- β 法（一定加速度法 $\beta=1/4$ ）とし、固有値解析法はサブスペース法とする。

構造モデルは、桁同士の衝突の恐れがあるため、PRC5径間連続ラーメン橋とPC5径間連続ラーメン橋を別々で単独の2次元全体構造系骨組モデルとして扱っている。質点の取り扱い、節点の集中質量で入力する。震度法による静的解析の結果、上部工に配置した内ケーブル鋼材は、終局時においても降伏に達しないことを確認したので、動的解析においては上部工を線形モデルとして扱っている。フーチングも線形モデルとする。柱は剛性劣化型で武田モデルと呼ばれるトリ・リニア型の材料非線形モデルとする。杭基礎は等価線形ばねモデルとして扱っている。要素分割は図-5、図-6動的解析モデルに示すように、上部工は各径間を4分割し、柱は橋脚上下端で柱の短辺長の1/4程度、それ以外は短辺長の1/2程度とし、フーチングは重心位置により2分割する。入力震度波は、地盤種別がⅡ種地盤であるため、表-3に示す6波に対して計算する。時刻歴間隔は、1/500秒とする。減衰定数については、上部構造（コンクリート構造）は、0.03とし、ゴム支承は0.02

表-1 橋梁概要

設 計 条 件		
橋 長	430.000m (設計区間)	
道 路 規 格	第1種 第3級 A規格	
荷 重	B活荷重	
設 計 速 度	80km/h	
支 間	図 示	
有 効 幅 員	13.795m、13.675m	
斜 角	90°-00'-00"	
縦 断 勾 配	0.347%~2.700%	
横 断 勾 配	2.00%~6.50%	
設 計 費 度	Kh=0.25	
上 部 工 型 式	PRC5径間連続中空床版橋×2連 PC5径間連続ラーメン箱桁橋	
下 部 工 型 式	部 体	張出式壁式橋脚（1枚壁、2枚壁）
	基 礎	場所打ち杭 $\phi 1500$ 、 $\phi 1200$
適 用 示 方 書	道路橋示方書・同解説（日本道路協会） 平成8年12月	

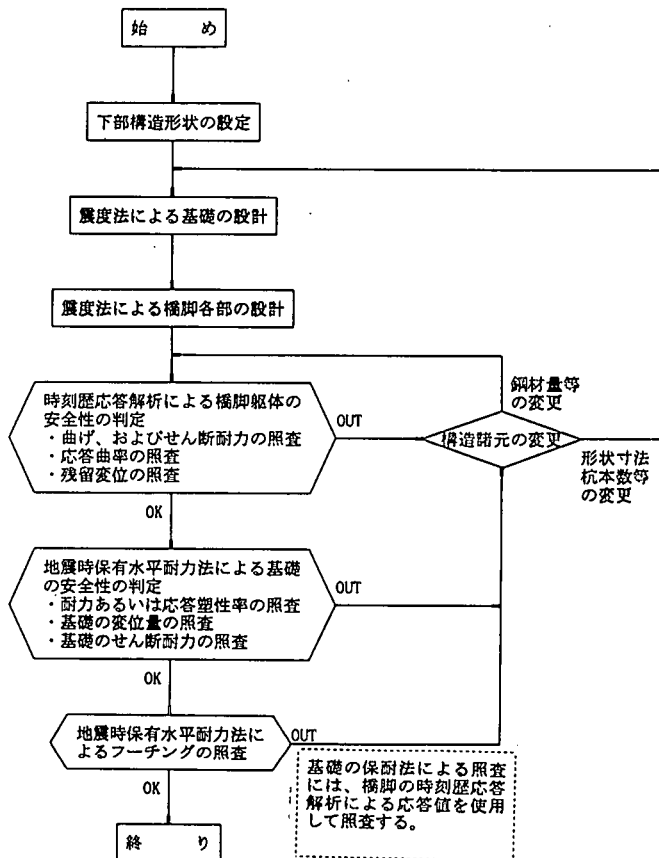


図-2 橋脚設計計算の流れ

PC5径間連続ラーメン箱桁橋（部計画 八幡・大住編）

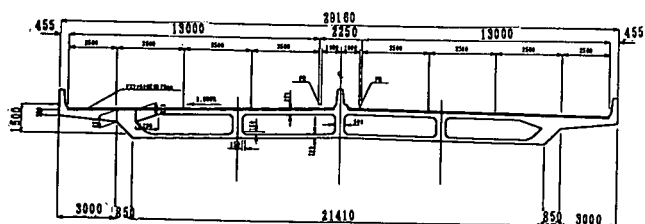
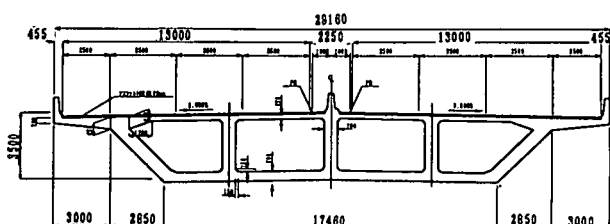


図-3 上部工断面図（ラーメン箱桁橋）

PC5径間連続ラーメン箱桁橋（部計画 八幡・大住編）



とする。下部構造（コンクリート構造）は、非線形域に入る場合0.02とする。基礎構造は、非線形域で0.30とする。

4. 動的解析による安全性の判定

時刻歴応答解析により橋軸方向について照査する。設計断面力は、入力地震波のタイプⅠ、タイプⅡの各3波の平均値とする。せん断耐力の照査では全部材について応答せん断力が許容せん断力以下とする。曲げ耐力の照査は、次のようにする。上部工は、プレストレスが導入されているので、平成8年の道路橋示方書・耐震設計編（以下、道示V）により、初降伏モーメント以下となるように配筋する。この際、主版上下面全てを有効鉄筋と見なす。下部工は、非線形化しエネルギー吸収を図る部材であるので降伏は許容するが、応答曲げモーメントが終局曲げモーメントには達しないこととする。

許容塑性率は考慮せず、終局曲率を越えないこととする。基礎工は、道示V11.3に定義する基礎の降伏に達しないこととする。残留変位については、柱下端から上部工慣性力作用位置の1/100以下とする。

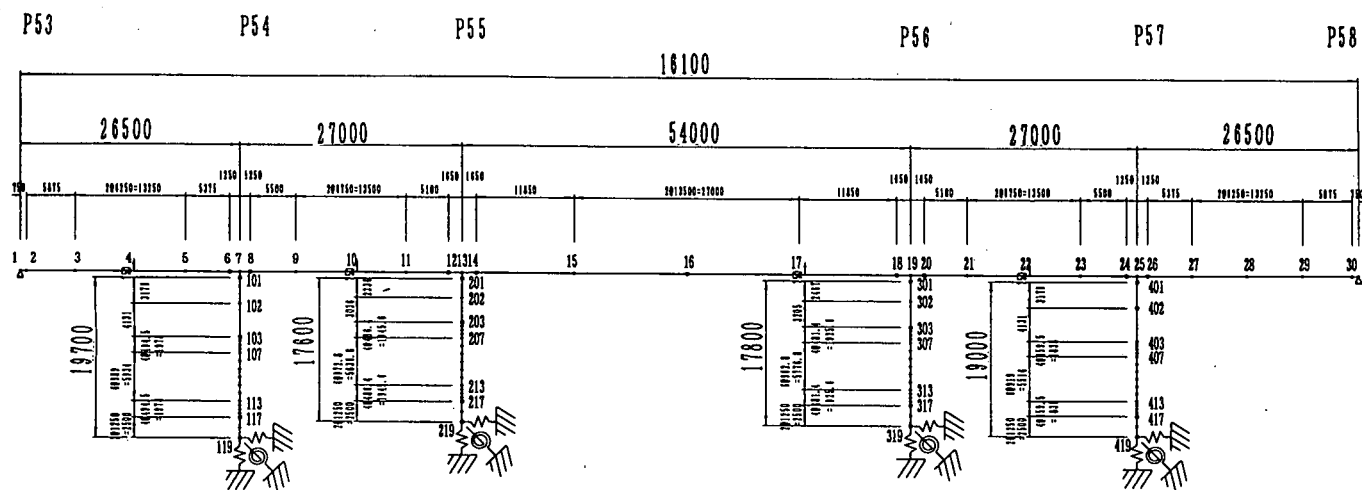
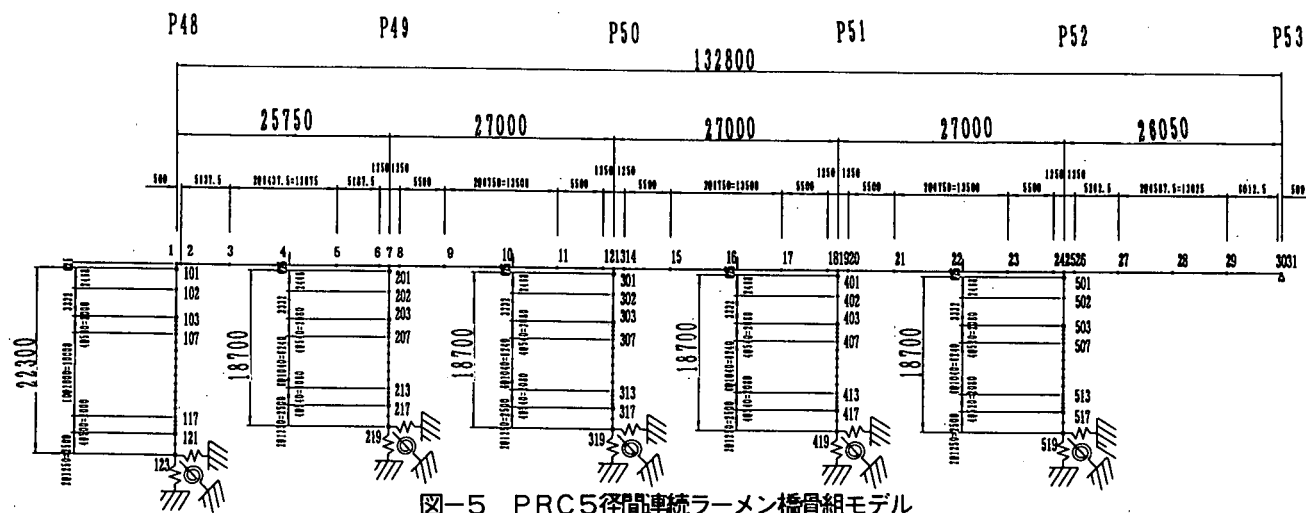
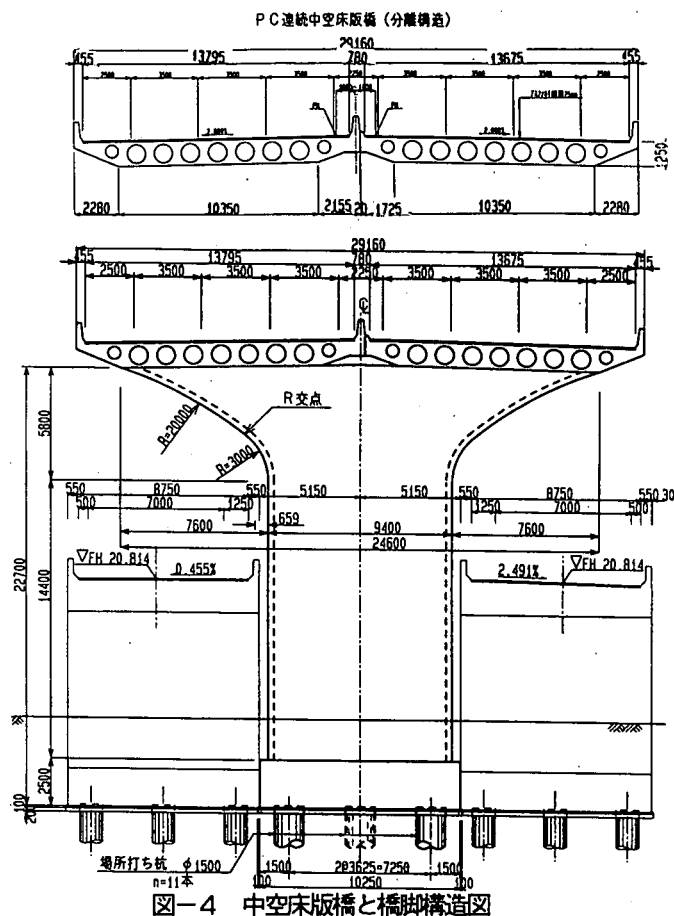


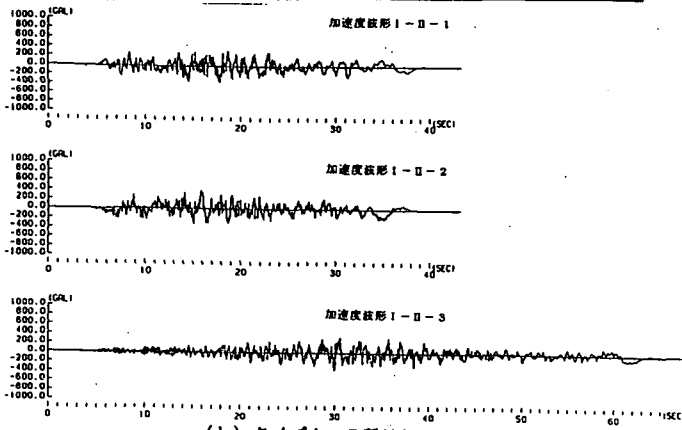
表-2 入力地震波

(a) タイプⅠ

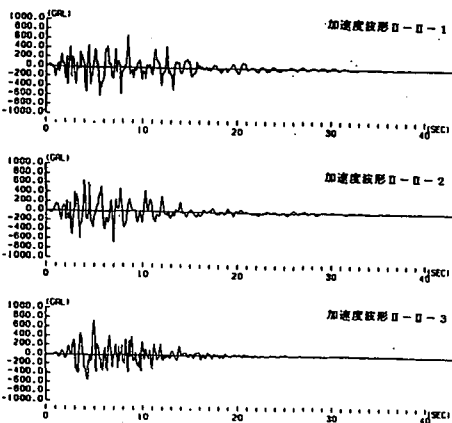
地震種別	地震名	マグニチュード M	記録場所
Ⅰ種地震	1978年宮城県沖地震	7.4	開北橋周辺地盤上
	1993年北海道南西沖地震	7.8	七峰橋周辺地盤上
Ⅱ種地震	1968年日向灘地震	7.5	板島橋周辺地盤上 LG, TR
	1994年北海道東方沖地震	8.1	塩根沼大橋周辺地盤上
Ⅲ種地震	1983年日本海中部地震	7.7	津軽大橋周辺地盤上
	1994年北海道東方沖地震	8.1	釧路川堤防周辺地盤上

(b) タイプⅡ

地震種別	地震名	マグニチュード M	記録場所
I 種地震	1995年兵庫県南部地震	7.2	神戸海岸気象台地盤上
			猪名川架橋予定地点周辺地盤上
II 種地震			JR西日本豊取駅構内地上 FW, AS
			大阪ガス宴会供給所構内地上
III 種地震			東神戸大橋周辺地盤上
			ポートアイランド内地上



(b) タイプⅠ、Ⅱ種地震



(c) タイプⅡ、Ⅲ種地震

5. けた端部の衝突による悪影響について

著者らは、地震時保有水平耐力法に基づく耐震設計例として、PRC 5径間連続中空床版橋とPC 5径間連続ラーメン箱桁橋の設計を紹介した。この時、問題となったのは、桁端の遊間をどの程度確保すべきかである。道路橋示方書の質問・回答集(1)には以下のように示されている。

「ゴム支承を用いた地震時水平力分散構造や通常の固定・可動支承構造を有する橋の場合で、設計上支承部に変位が生じることを想定している場合には、これを許容できるようにけた端部に遊間を確保するの

が望ましい。ただし、大きな遊間を設けることによって伸縮装置も大がかりなものとなり、維持管理等の別の問題が生じ得ること等を考慮し設計で想定している変位よりも小さい遊間を設ける場合には、けた端部における2つの設計振動単位の衝突により相互に悪影響を及ぼさないことを検討するのがよい。」

望ましい値としては、PRC中空床版橋の最大応答変位約15cmとPC箱桁橋の最大応答変位約20cmの合計値約35cmである。

鉄筋コンクリート構造物に衝撃荷重が作用する場合、そのひずみ速度の影響による応力ひずみ関係の変化、破壊限界の変化、応答波の伝播等が問題となる。

著者らは、ある程度の遊間を確保しておけば衝突が生じて、弾性棒の衝突による応力波のような反発力¹⁾が生じるのではなく、互いの衝突エネルギーは、下部工の変位、支承の変位による吸収と上部工のコンクリートの衝突による局部破壊(特に表面破壊)^{2), 3), 4)}による吸収により無視できると推定した。局部破壊とは、衝突体が被衝突体に衝突した直後、衝突位置近傍に極めて短時間に発生する破壊現象と定義されている。²⁾ 表面破壊とは被衝突体の表面よりコンクリートの破片が飛び散る現象である。

すなわち、衝突エネルギーEは一般に以下のように表される。

$$E = E_1 + E_2 + E_3 + E_4$$

ここにE₁: 吸収(変位)エネルギー

E₂: 運動(反発)エネルギー

E₃: 逸散(拡散)エネルギー

E₄: 局部破壊エネルギー

著者らは、ある程度の遊間(本設計では30cm)を確保しておけば、衝突エネルギーE₁は、E₁=E₁+E₃+E₄と推定し、反発力による悪影響は生じないと考えた。

6. まとめ

PRC 5径間連続中空床版橋とPC 5径間連続ラーメン箱桁橋の耐震設計を紹介した。また、けた端部の衝突による悪影響についての推論も行った。

参考文献

- 1) 水口, 芦塚, 春日, 玉置: 2枚壁式橋脚を有する多径間連続ラーメン橋の耐震設計に関する一考察 Vol. 39, No. 5, Sep. 1997
- 2) 土木学会: 構造物の衝撃挙動と設計法, 1994
- 3) 土木学会: コンクリートライブラリー79, コンクリート技術の現状と示方書改訂の動向, 1994
- 4) 土木学会: コンクリートライブラリー69, コンクリートの力学特性に関する調査研究報告, 1991