

## 鋼製ラーメン橋脚の耐震設計

橋 肇\* 森川 友記\*\* 細田 直久\*\*\*

平成 14 年 3 月の道路橋示方書・同解説の改訂により、コンクリートを充填した鋼製橋脚は、動的照査法により照査を行うこととなった。竹田第 2 工区（その 2）鋼製橋脚工事において設計を行った鋼製橋脚の形式は、柱間隔の広い鋼製ラーメン橋脚であったため、一般的に行われている柱を非線形、梁を線形とした動的解析の結果、面内の曲げモーメントが卓越し、梁・柱部材ともに静的解析時の断面より大幅に断面 UP する結果となった。

鋼製ラーメン橋脚の面内方向の耐力は一般的に高いとされており、阪神大震災においても梁部には大きな損傷が見られなかったことから、より経済的な設計方法の検討を行った。本文では、これらの検討結果について報告を行うものである。

キーワード：鋼製ラーメン橋脚，動的解析，弾塑性設計

### まえがき

京都市道高速道路 2 号線（油小路線）は、現在建設中である京都市道高速道路 1 号線（新十条通）に接続し、鴨川沿いおよび油小路通上を高架で南下し、第二京阪道路と接続する計画となっている。竹田第 2 工区（その 2）鋼製橋脚工事は、図-1 に示すとおり鴨川と名神高速道路の間に位置する 2 号線の一部となる。

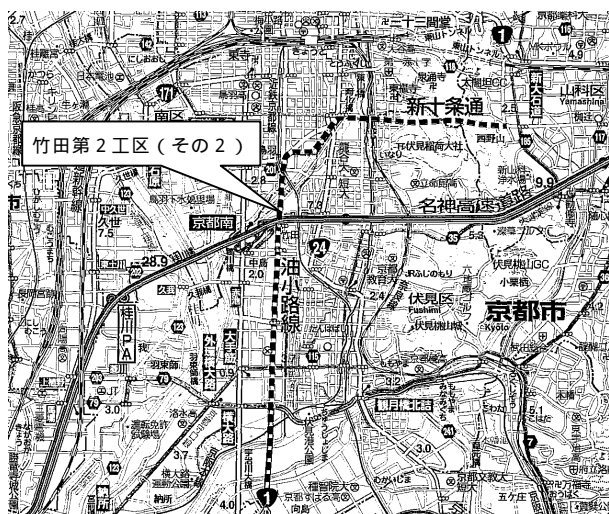


図-1 位置図

本橋脚は、油小路通りを跨ぐため柱間隔の広い（最大 25.8m）鋼製ラーメン橋脚であり、梁を塑性化させることで、より合理的となる設計方法を採用した。ここではその方法と、塑性化した部位の現場継手形式の検討について報告を行うものである。

### 1. 工事概要

本橋の上部工は、南行き車線（4 径間連続非合成鈹桁）と北行き車線（3 径間連続非合成鈹桁）の分離構造である。下部工は、主に門型形式の鋼製橋脚であり、上部工の南行きと北行きの両方を支持する。また、本工事は暫定施工となっており、全ての橋脚において将来の拡幅を考慮した暫定系・完成系の設計を行っている。

本工事の 5 橋脚の形式を下記に、油 P16 橋脚の一般図を図-2 に示す。

- ・ P12 橋脚：逆 L 型鋼製橋脚  
（鴨川渡河部橋梁（北行き）剛結橋脚）
- ・ P13 橋脚：1 径間門型ラーメン  
（鴨川渡河部橋梁（南行き）剛結橋脚）
- ・ P15 橋脚：1 径間門型ラーメン（暫定系）  
2 径間門型ラーメン（完成系）
- ・ P16 橋脚：1 径間門型ラーメン（暫定系）  
2 径間門型ラーメン（完成系）

\* 橋梁部東京設計課係長 \*\* 工事部大阪工事二課 \*\*\* 橋梁部大阪設計課課長

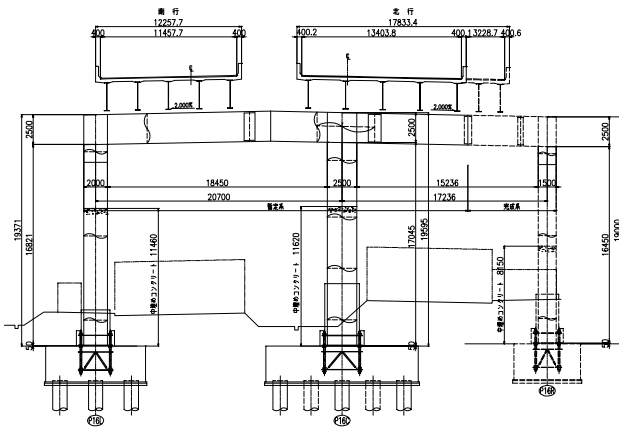


図-2 油 P16 橋脚一般図

- ・ P17 橋脚：1 径間門型ラーメン(暫定系)  
2 径間門型ラーメン(完成系)

支承は常時の鉛直力を支持する働きと、地震時の水平力を支持する働きを分離した機能分離型支承<sup>1)</sup>を採用した。

2. 耐震性能の照査

耐震性能の照査については、静的解析にてレベル 1 地震動の照査を行い、動的解析にてレベル 2 地震動の照査を行った。

動的解析は、動的応答解析プログラム TDAP Ver.2.11 (株式会社アーク情報システム) を用いて非線形動的解析を行い、入力地震動は道路橋示方書・同解説 耐震設計編<sup>2)</sup>(以下、道示 V) にあ

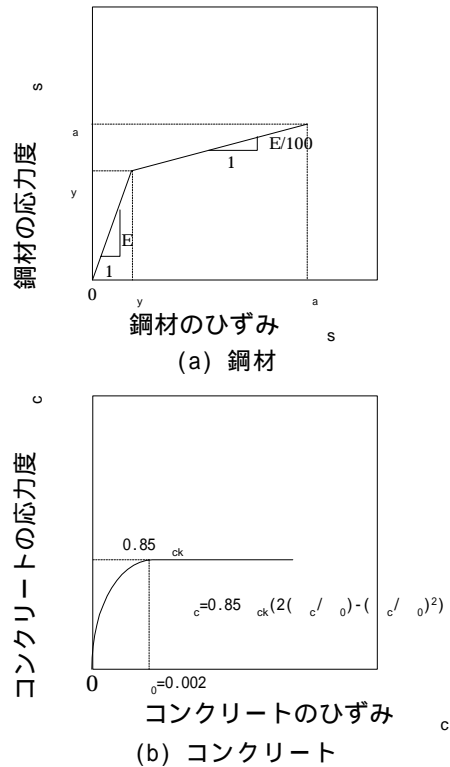


図-3 応力度 ひずみ曲線

る 2 種地盤用地震波形をタイプ , タイプ の 6 波について照査した。梁非線形時の解析条件を表-1 に示す。ファイバーモデルに用いる応力度 ひずみ関係は、道示 に従うものとする(図-3)。

(1) 動的解析モデル

上部工の支点条件は、機能分離型支承を用いた

表-1 解析条件(梁非線形)

入力地震動	橋軸方向 タイプ、各 3 波(標準波形) 計 6 波 直角方向 タイプ、各 3 波(標準波形) 計 6 波
非線形要素	橋脚梁、柱
線形要素	主桁、基礎ばね、水平支承ばね
死荷重時断面力	初期断面力を考慮する
材料非線形モデル	橋軸方向：ファイバーモデル 直角方向：ファイバーモデル
減衰	レイリー減衰
ひずみエネルギー 算出時材料減衰係数	主桁：2% 橋脚(充填部)：2% (鋼単独部)：1% 支承：4% 基礎：20%
モード解析手法	サブスペース法
数値解析手法	ニューマーク法
時間刻み	t = 0.002 秒
解析時間	各入力波の観測時間 + 自由振動(10 秒)

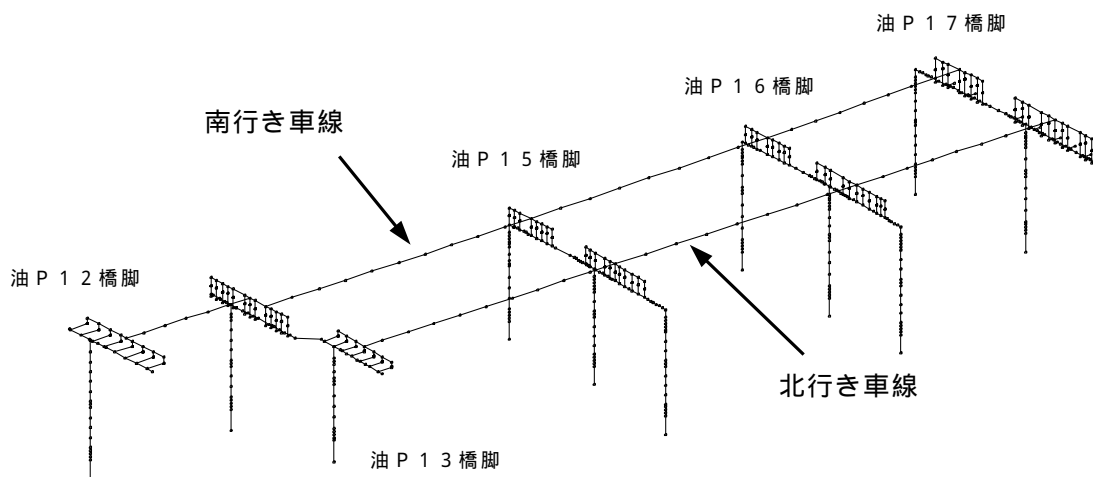


図-4 動的解析モデル（完成系）

弾性支持となっているため、上部工と鋼製橋脚の全体をモデル化した立体モデルにて解析を行った（図-4）。

上部工は多主桁を1本の桁に換算してモデル化し、支点部において、剛な仮想部材を設け実際の支点条件を再現した。また、床版の剛性は、橋軸直角方向は考慮し、橋軸方向は考慮しないものとした。

橋脚の剛性は、柱は軸力部材のため全幅有効とし、梁は曲げ部材のため有効幅を考慮した。ただし、梁に塑性化を考慮した場合は全幅有効とした。

（2）動的解析による照査方法の検討

鋼製ラーメン橋脚のレベル2地震動の照査では、柱は曲げ非線形、梁は線形とするのが一般的である。

しかし、本橋脚は柱間隔の広い鋼製ラーメン橋脚であり、柱を非線形、梁を線形として動的解析の照査を行った結果、面内の曲げモーメントが卓越し静的解析時の断面より鋼重が1割程度UPする結果となった。そこで、下記の2ケースについて検討を行った。

ケース1：梁は線形で柱隅角部直下に塑性化するポイントを追加

ケース2：梁を曲げ非線形とした弾塑性設計

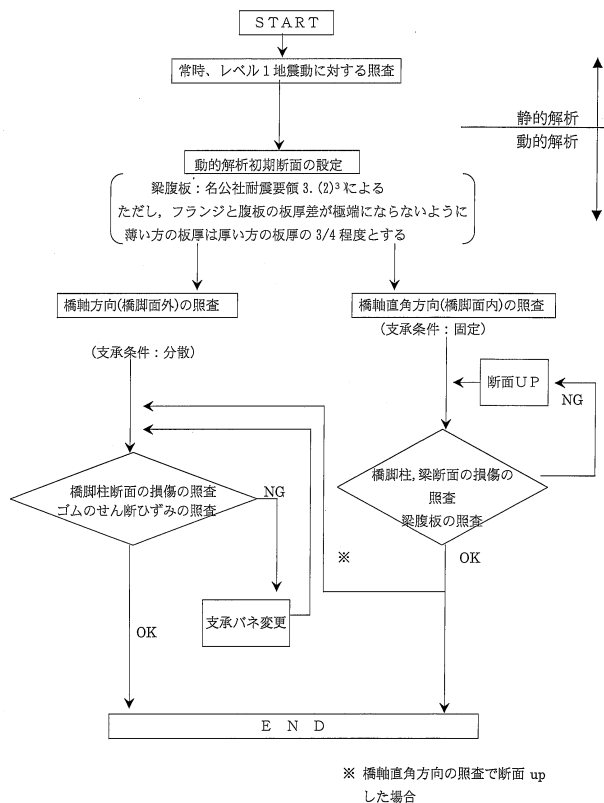
道示Vでの鋼材の応力度ひずみ曲線は、柱に着目した載荷実験結果から得られたものであり、梁に適用するにあたっては、軸力比が0 N/Ny 0.2であることを確認し、初期断面として下記の項目を考慮した。

中間梁腹板については、水平補剛材を追加し、せん断座屈を起こさないように腹板パネル

の照査を行い、決定した腹板厚を動的解析値の初期断面とする<sup>3)</sup>。（追加した水平補剛材は、断面に考慮しない）

道示Vに従いフランジと腹板の板厚差が大きくなりすぎないように、薄い方の板厚は厚い方の板厚の3/4程度とする。

梁非線形の場合の照査フロー図を図-5に示す。



※ 橋軸直角方向の照査で断面 up した場合

図-5 照査フロー図（梁非線形）

(3) 検討結果

検討結果例として、油 P16 橋脚暫定時の静的解析および動的解析の各ケースでの梁曲げモーメント図を図-6 に、断面構成図を図-7 に示す。

1) ケース 1 の検討結果

橋脚柱に塑性化のポイントを増やすことで梁の断面 UP 率を少なくすることを目的とした。梁線形のケースと比較して梁断面は多少小さくなり 1 橋脚あたり約 4ton 減(鋼重比率 2%)となったが、

板継ぎ、材片数が増えるためあまりメリットがでない結果となった。

2) ケース 2 の検討結果

柱部と同様に梁を曲げ非線形とした弾塑性設計を行った結果、梁線形のケースと比較して梁部腹板に水平補剛材を追加する必要があるため小型材片数は増えるものの、重量は 1 橋脚あたり約 30ton 減(鋼重比率 12%)となり、大幅に合理化がはかれた。

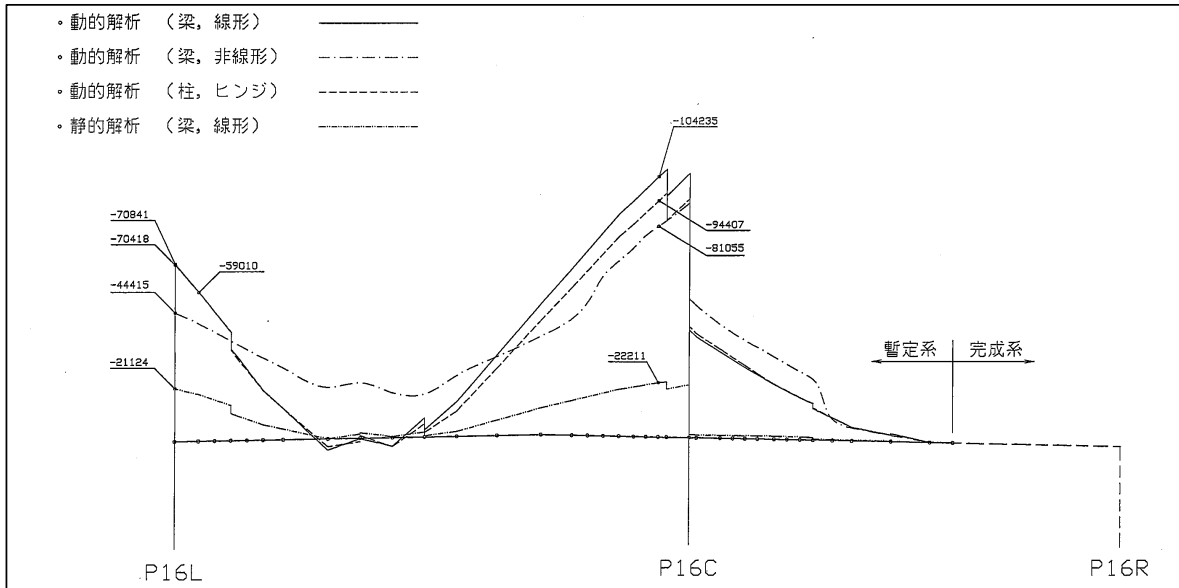


図-6 梁曲げモーメント

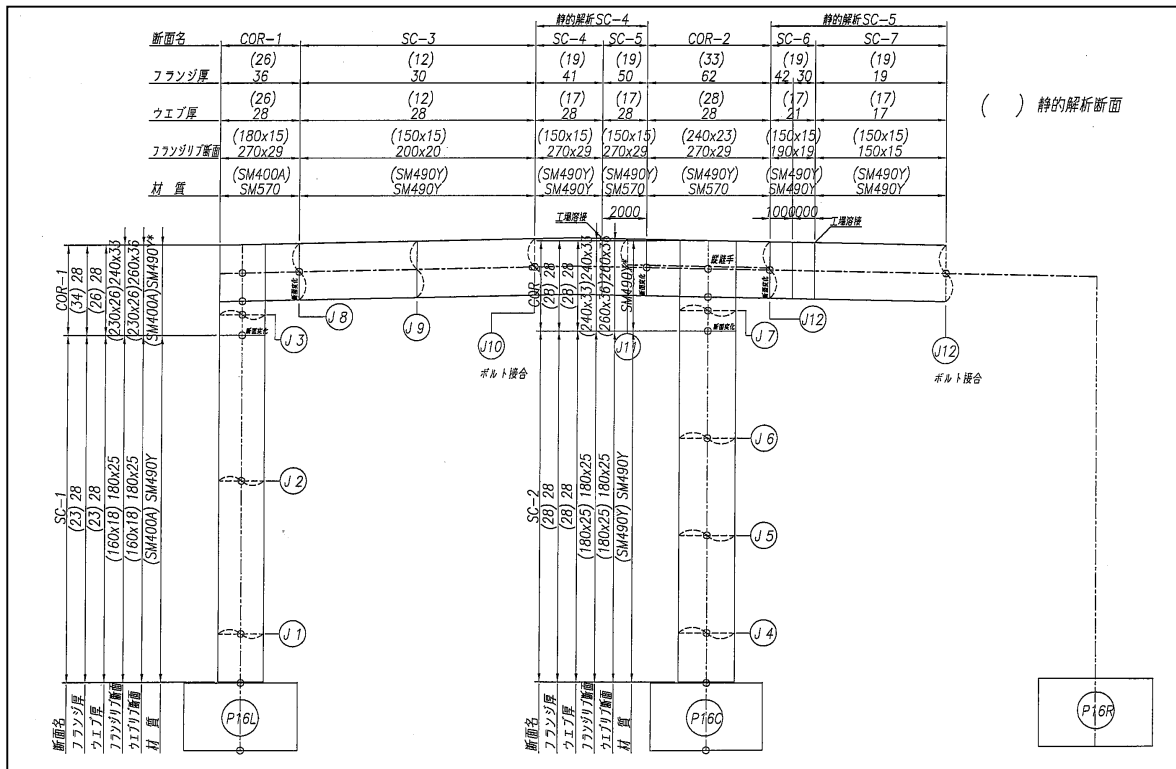


図-7(a) 油 P16 橋脚断面構成 (梁線形)

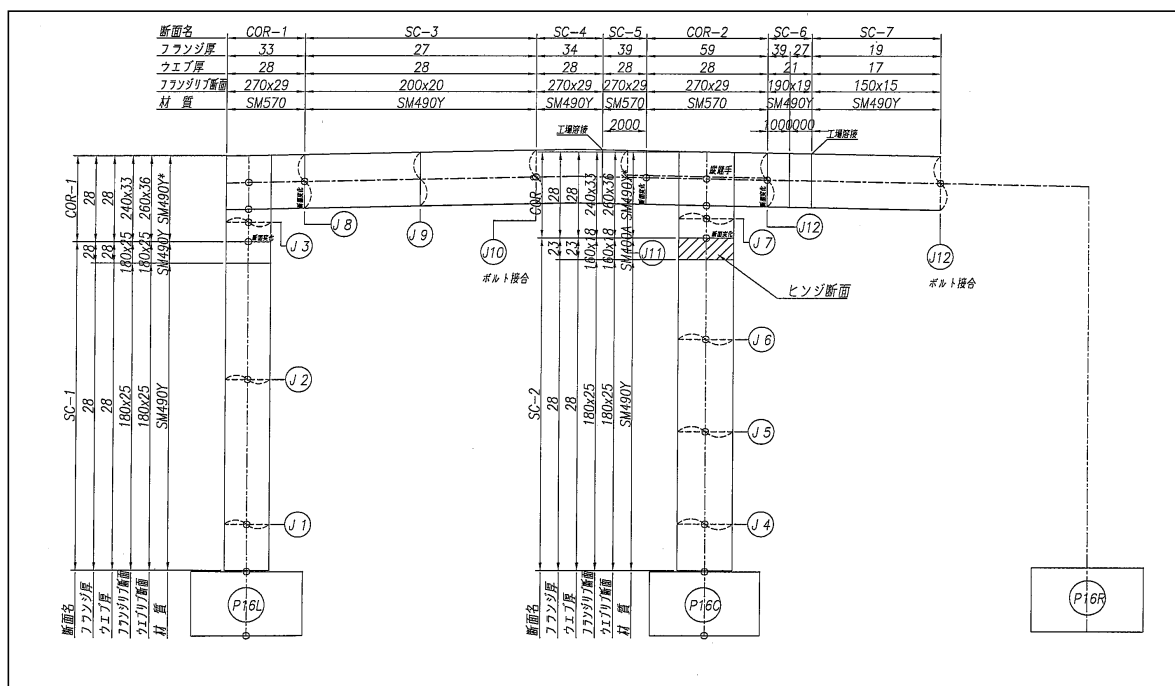


図-7(b) 油 P16 橋脚断面構成(柱ヒンジ)

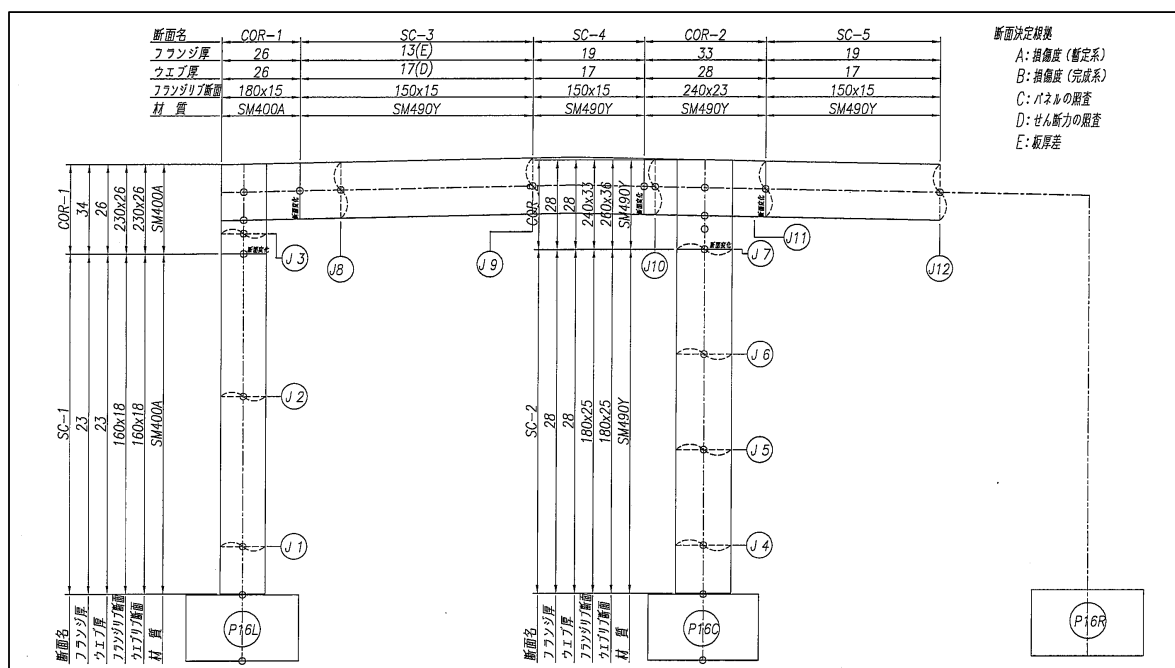


図-7(c) 油 P16 橋脚断面構成 (梁非線形)

### 3. 現場連結部の設計方針

阪神高速道路公団の設計基準<sup>4)</sup>では、現場連結部の設計方針は基本的に、柱母材は現場溶接接合、梁母材および縦リブは高力ボルト摩擦接合としている。

本橋では、梁・柱部材ともに弾塑性設計を行っているため、連結部が塑性化した場合の連結部耐力が問題となり、その設計方針の検討を行った。

#### (1) 柱部の現場連結部

柱の母材が塑性化した場合、現場連結部は母材が溶接されているため、縦リブの高力ボルト摩擦接合部が滑るような変形は起きないものと考えられる。よって、縦リブは高力ボルト摩擦接合とするが、ボルト本数は全強にて設計するものとした。

#### (2) 梁部の現場連結部

高力ボルト摩擦接合部の母材が塑性化した場合、

ポアソン効果により母材の板厚減少が生じ、ボルトの軸力抜けが起こることが既存の研究成果<sup>5)</sup>に報告されている。すべり耐力の低下を補うためには、ボルト本数を増やす必要があり、油 P16 橋脚 J10 では 2 割程度増加した。この結果より経済性の比較を行い、連結部が塑性化する梁母材は、柱部と同様に現場溶接接合、縦リブは高力ボルト摩擦接合とした。

#### 4. まとめ

柱間隔の広い鋼製ラーメン橋脚で、面内の曲げモーメントが卓越する橋脚の耐震設計方法について検討を行った結果を下記にまとめる。

非線形動的解析は、直応力と直ひずみの関係のみ材料非線形性を考慮し、せん断変形については弾性と仮定する。ただし、梁部においてせん断が卓越する場合は別途検討を行う。中間梁腹板については、水平補剛材を追加し、せん断座屈を起こさないように腹板パネルの照査を行い、決定した腹板厚を動的解析値の初期断面とする。(追加した水平補剛材は、断面に考慮しない)また、フランジと腹板の板厚差が大きくなりすぎないように、薄い方の板厚は厚い方の板厚の 3/4 程度とする。

動的解析の応答値により、腹板のせん断応力度の照査を行い、許容せん断応力度の 90% 程度であることを確認する。(曲げ降伏を先行させるため、せん断応力度を許容応力度の 90% 程度以下とする。)

現場連結部は、塑性領域の部材でもすべりを起こさないことを前提とした。よって塑性化した箇所は溶接接合とし、縦リブは高力ボルト摩擦接合で全強にて設計する。

#### あとがき

本文では、柱間隔の広い鋼製ラーメン橋脚の耐震設計方法についての検討を行った結果について述べた。

公共事業におけるコスト縮減が求められ、より合理的な設計法の確立が急がれる。その際、本報告が何らかの参考になれば幸いである。

最後に、本工事の設計に際してご指導、ご協力

をいただいた阪神高速道路公団の方々をはじめ、関係各位に深く感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 1) 阪神高速道路公団：機能分離型支承 適用要領 (案) - 京都高速道路(油小路線) - , 2002.4.
- 2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 ( 鋼橋編 , V 耐震設計編 ), 2002.3.
- 3) 名古屋高速道路公社工務部：コンクリートを部分的に充填した鋼製橋脚の耐震性能照査要領 , 2002.6.
- 4) 阪神高速道路公団：設計基準 第 2 部 , 2000.4.
- 5) 西村宣男・秋山寿行・亀井義典：高力ボルト摩擦接合継手に関する最近の研究動向 , 土木学会論文集 , No.675/ -55 , pp.1-14 , 2001.4.