

道路橋示方書における鋼製橋脚の耐震設計について

西川 和廣 * 村越 潤** 上仙 靖*** 高橋 実****

* 工修 建設省土木研究所構造橋梁部橋梁研究室 室長(〒305 茨城県つくば市旭1番地)
 **工修 同 主任研究員
 ***工修 同 研究員
 ****工修 同

鋼製橋脚の耐震性能については、平成7年1月に起きた兵庫県南部地震以降、土木研究所等において数多くの载荷実験を中心とした調査研究が行われてきた。平成8年11月には道路橋示方書が通達され、耐震設計編において、調査研究成果を踏まえ鋼製橋脚の耐震設計に関する規定が設けられた。ここでは、鋼製橋脚の耐震設計の基本的考え方を示すとともに、鋼製橋脚の载荷実験結果に基づき、鋼製橋脚の耐震性の向上方法および設計法について述べる。

Key Words : Steel bridge pier, Seismic design, Ductility

まえがき

平成7年1月17日の兵庫県南部地震では、都市内高架橋の鋼製橋脚についても、補剛板や鋼管の局部座屈、変形、割れなどの被害を受け、うち2基は倒壊に至っている。

こうした被害に対し、平成7年2月に建設省より通知された「兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係る仕様」¹⁾ (以下、「復旧仕様」という)では、鋼製橋脚については、当面の措置として中詰めコンクリートを充填するなどにより必要なじん性を確保するものとし、コンクリートを充填した鋼製橋脚について、地震時保有耐力照査を行うこととしている。

その後、鋼製橋脚については、主にコンクリートを充填しない鋼製橋脚について、土木研究所を中心に耐力および変形性能の向上方法に関する検討^{2) 3)}が行われ、その成果を踏まえて、今回改訂された道路橋示方書V耐震設計編⁴⁾に、新たに鋼製橋脚の耐震設計に関する規定が設けられた。

本文では、道路橋示方書に取り込まれた鋼製橋脚の耐震設計に関する基本的考え方と方法⁵⁾について、鋼製橋脚の被災事例や土木研究所で実施された実験的検討を踏まえて述べる。

1. 鋼製橋脚の被災事例

地震直後に設置された兵庫県南部地震道路橋震災対策委員会の調査報告⁶⁾によれば、調査対象の鋼製橋脚355基のうち、比較的被災度の高いB (B: 鋼材の座屈や部材の変形が部分的に見られるもの) 以上と判定された橋脚は51基 (全数の14%) となっている。

このうち、崩壊に至った鋼製橋脚は2基であり、いずれも矩形断面橋脚である。写真-1はそのうちの1基の倒壊後の状況を示したものであり、補剛板の角溶接部付

近に生じた割れにより、4面すべてが板状に折り曲げられている。本橋脚の場合、設計で想定した以上の地震力の作用を受け、ウェブおよびフランジの局部座屈の進展に伴い角溶接部が縦方向に裂け、4面の補剛板がはがれたことが、鉛直方向の支持力を失うきっかけになったものと推定されている。

一方、円形断面橋脚については、倒壊に至った事例はないが、被災度の大きい橋脚の中には、写真-2および写真-3に示すように、局部座屈による変形の進展に伴い橋脚が大きく傾斜した事例や、局部座屈に伴う変形の進展により円周方向に破断した事例が報告されている。

その他の被災した橋脚の多くは、橋脚基部や断面変化部において、鋼材の降伏により塗装がはがれたり、局部座屈により面外方向に変形するといった部分的な損傷を受けているが、倒壊には至っていない。設計時の想定をはるかに超えた地震力が加わったことを考えると、一定の耐震性能を有していたことを示したものと考えられる。

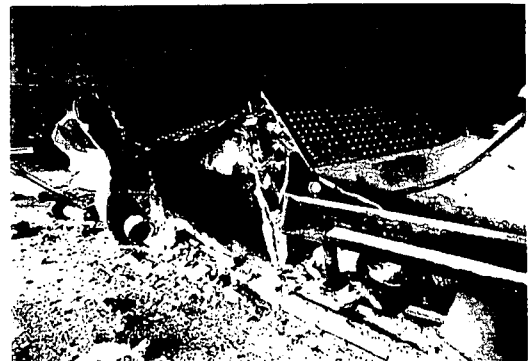


写真-1 角溶接部の破断による橋脚の倒壊

2. 鋼製橋脚の耐震設計上の必要条件

1.で述べたように大部分の鋼製橋脚は、設計で想定し



写真-2 局部座屈による円形断面橋脚の傾斜



写真-3 提灯座屈部に生じた割れ

た以上の地震力の作用に対しても、局部座屈や変形が部分的に生じたものの倒壊に至らず、落橋という最悪の状況を回避するという最小限の機能は果たしたと推測される。しかしながら、水平地震力により補剛板の角溶接部に割れが生じたり、鋼管の提灯座屈による変形の集中が生じると、上載荷重に対する耐力が低下したり、剛性の低下が著しく、履歴吸収エネルギーを期待しにくい場合もある。

こうした被災事例や各種実験解析より得られた知見をもとに、今回の改訂では、鋼製橋脚の耐震設計上の必要条件として次の4項目を基本とすることとした。

(1) ぜい性的破壊モードの回避

矩形および円形断面橋脚について、それぞれ次のような状態になると、上部構造等の死荷重に対する鉛直方向の耐力を失い、じん性の乏しいぜい性的な破壊に至るので、このような破壊モードをぜい性的な破壊モードと呼び、これを避けることのできる構造とすることを必要条件とした。

(a) 矩形断面橋脚

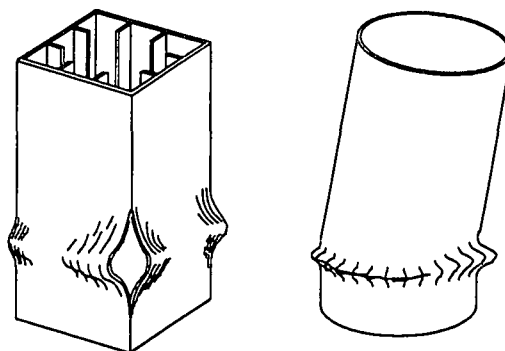
矩形断面を構成する補剛板の角溶接部が縦方向に裂け、補剛板が分離する結果、上部構造等の死荷重に対する鉛直方向の耐力を失う状態。

(b) 円形断面橋脚

最初に発生した1カ所の局部座屈にその後の変形が集中し、それに伴って橋脚が傾斜したり、変形の進展

により円周方向に割れが生じた状態。

図-1に、ここでいうぜい性的破壊モードのイメージを示す。



(a) 矩形断面橋脚における角割れ (b) 円形断面橋脚における変形の集中, 傾斜, 割れ

図-1 鋼製橋脚のぜい性的破壊モード

特に矩形断面では、橋脚の基部に車両衝突時の変形防止を目的とした中埋めコンクリートを充填する場合、充填部において補剛板が外側にはらみ出す変形モードが発生しやすい状態になる。このような状態で角割れが生じ鋼中空断面部分に進展すると、上記の状態に至る可能性がある。

このような破壊モードを防ぐための具体的な構造細目については後述する。

(2) じん性の向上

鋼製橋脚については、従来の道路橋示方書では座屈または降伏を終局状態とした震度法レベルの設計が行われており、鉄筋コンクリート橋脚のように非線形域のじん性を考慮した設計は行われていなかった。今回、鋼製橋脚においても、鉄筋コンクリート橋脚と同様に変形性能を考慮した耐震設計を行うこととし、弾性域を超えた後も、最大水平耐力付近において急激に耐力が低下することなく、安定した履歴曲線が得られる構造となるように設計することとした。

(3) 残留変位の制限

鋼製橋脚に限らないが、非線形域において過大な変形性能を許容すると、大きな非線形応答変位が生じることになり、それだけ残留変位も大きくなる。地震後の使用性や復旧工事を考えると、変形性能がいくらかでも大きくてもよいということにはならない。すなわち、残留変位をある程度制限し、橋脚の耐力とじん性を適切にバランスさせた設計を行うことが必要である。今回の地震における橋脚の被災事例等を考慮し、コンクリート橋脚と同様に地震後の残留変位を橋脚高（慣性力作用高さ）の1/100に抑えるものとした。

(4) アンカー部の耐震設計

アンカー部は橋脚に作用する軸力、曲げモーメントおよびせん断力を基礎フーチングに伝達させる重要な構造であり、橋脚の耐震性に大きな影響を与える。アンカー

部については、塑性変形をできるだけ残さないようにアンカー部の耐力が橋脚部の耐力と同等以上の耐力を有するように設計するのを基本とした。

3. 鋼製橋脚の耐震設計

2.の条件を満たす鋼製橋脚の設計法について、コンクリートを充填した鋼製橋脚とコンクリートを充填しない鋼製橋脚に区分して以下に説明する。

3.1 コンクリートを充填した鋼製橋脚

(1) 地震時保有水平耐力および許容塑性率

コンクリートを充填した鋼製橋脚については、従来より橋脚内部に適切にコンクリートを充填することにより飛躍的に耐力および変形性能を向上できることが確認されており、「復旧仕様」においても鉄筋コンクリート橋脚に準じて地震時保有耐力の照査法が示されていたが、今回の改訂では、「復旧仕様」の内容をほぼそのまま取込んだ。地震時保有水平耐力および許容塑性率は次式により与えられる。

$$P_a = P_y + \frac{P_u - P_y}{\alpha} \quad (1)$$

$$\mu_a = \left\{ 1 + \frac{\delta u - \delta y}{\alpha \delta y} \right\} \frac{P_y}{P_a} \quad (2)$$

ここに、

P_a : コンクリートを充填した鋼製橋脚の地震時保有水平耐力(tf)

P_u : コンクリートを充填した鋼製橋脚の終局水平耐力(tf)

P_y : コンクリートを充填した鋼製橋脚の降伏水平耐力(tf)

α : 表-1に示す安全係数

表-1 安全係数

橋の種別	タイプⅠの地震動に対する許容塑性率の算出に用いる安全係数 α	タイプⅡの地震動に対する許容塑性率の算出に用いる安全係数 α
B種の橋	3.0	1.5
A種の橋	2.4	1.2

μ_a : コンクリートを充填した鋼製橋脚の許容塑性率

δu : コンクリートを充填した鋼製橋脚の終局変位(m)

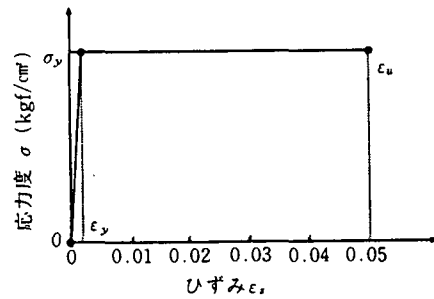
δy : コンクリートを充填した鋼製橋脚の降伏変位(m)

ここで、地震時保有水平耐力および許容塑性率は、既存の実験結果を踏まえ、軸力に対しては鋼断面のみで抵抗し、曲げモーメントに対しては充填コンクリートが引張りに抵抗せず、鋼断面を鉄筋と見なした鉄筋コンクリート断面として、それぞれ仮定し算出することとした。

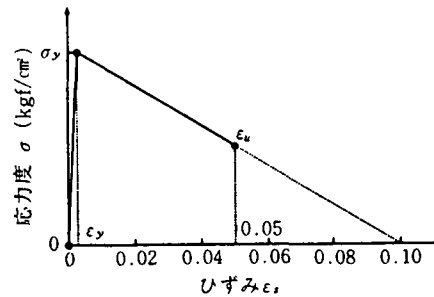
また、地震時保有水平耐力および許容塑性率を算出する際には、「復旧仕様」と同様に以下の仮定を設けてよいこととした。

- ① 鋼材をこれと等価な断面積を有する帯鉄筋および軸方向鉄筋とみなす。
- ② 鋼材の応力度-ひずみ関係を図-2のようにモデル化する。この場合、終局ひずみは地震動のタイプによらずに同一の値として与える。引張り側鋼材および圧縮側鋼材の終局ひずみは5%とした。

③ コンクリートを充填した鋼製橋脚の場合には、帯鉄筋として機能する鋼材量が多いため、充填コンクリートに対して大きな拘束力が期待できることから、コンクリートの応力度-ひずみ曲線は一般に図-3のように与える。



(a) 引張り側鋼材



(b) 圧縮側鋼材

図-2 鋼材の応力度-ひずみ関係のモデル化

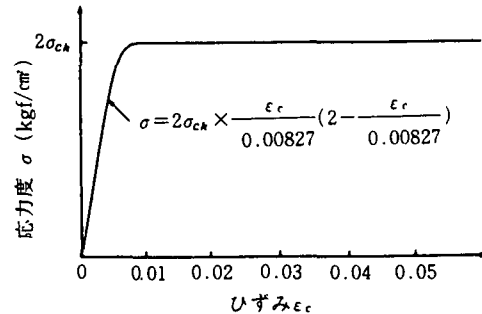


図-3 コンクリートの応力度-ひずみ関係のモデル化

許容塑性率 μ_a については、「復旧仕様」の場合の式と異なり、 P_y/P_a が乗じられている。これは μ_a をエネルギー一定則で仮定している完全弾塑性モデルに合わせて、弾性限界変位に対して与えることとしたためである。また、地震動のタイプに応じた安全係数の設定の考え方については、鉄筋コンクリート橋脚の設計の考え方と整合を図った。

図-4は、コンクリートを充填した鋼製橋脚供試体(外形寸法900×900mm、高さ約3,500mm)の正負交番繰返し荷重実験結果を示したものである。図中の細破線は実験結果の荷重-変位履歴曲線であり、実線は上述の仮定による計算結果を示している。太破線は、同一諸元の試験体でコンクリートを充填していない場合の包絡線である。コンクリートを充填することにより、耐力および変形性能ともに大幅に向上することがわかる。また、

上述の仮定により算出した終局耐力と終局変位は、実験より得られた終局耐力と耐力の安定した領域の最大変位におおむね一致しており、妥当なものと考えられる。

なお、上述の計算上の仮定は必ずしも理論的に与えたものではなく、コンクリートを充填した鋼断面部の評価のみに適用するものであり、コンクリートを充填していない鋼断面部の終局耐力の評価等に用いることはできない。また、繰返し載荷実験などにより信頼できるデータが得られている場合やそのデータに基づいて適切な解析モデルが得られている場合には、必ずしもこれらによらなくてもよい。

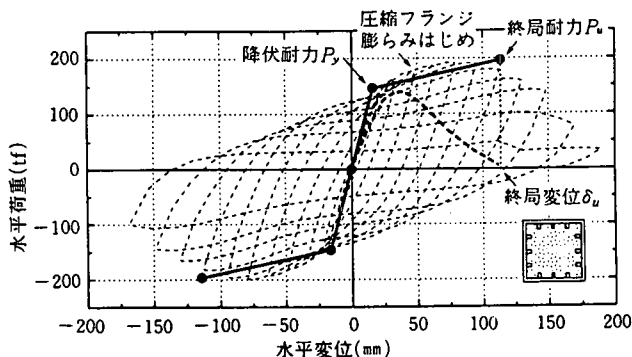


図-4 コンクリートを充填した矩形断面鋼製橋脚の水平荷重-水平変位関係

(2) 構造細目

鋼中空断面内部に充填するコンクリートについては、鋼断面の局部座屈の発生およびその後の変形を抑えることを目的として充填するものであり、低強度のコンクリート（基準強度160kgf/cm²程度）を使用するのがよい。

また、コンクリートの充填高さについては、橋脚基部が確実に塑性化しエネルギー吸収できるように、コンクリート充填部と非充填部の境界部に座屈等が生じないように配慮する必要がある。そこで充填高さについては、充填コンクリート直上における鋼断面の降伏水平耐力または局部座屈を考慮した水平耐力が橋脚基部の終局水平耐力を上回るように次式を満足するように設定した。

$$P_{ys} > P_u \quad (3)$$

ここで、

P_{ys} : 充填コンクリート直上の鋼断面の降伏水平耐力、または局部座屈を考慮した水平耐力

(局部座屈に対する許容応力度に安全率1.7を乗じて算出)

P_u : コンクリートを充填した鋼製橋脚基部の終局水平耐力

なお、充填コンクリート直上の鋼中空断面部のほかに断面変化部がある場合には、その部分が先に座屈しないかどうか、式(3)に従い照査する必要がある。

(3) 残留変位

コンクリートを充填した鋼製橋脚の残留変位の算定式は次式で与えられる。

$$\delta_R = c_R (\mu_R - 1) (1 - r) \delta_y \quad (4)$$

δ_R : 橋脚の残留変位(m)

c_R : 残留変位補正係数 (0.35としてよい)

μ_R : 橋脚の応答塑性率

$$\mu_R = \frac{1}{2} \left\{ \left[\frac{k_{hc} W}{Pa} \right]^2 + 1 \right\} \frac{Pa}{Py} \quad (5)$$

r : 橋脚の降伏剛性に対する降伏後の二次剛性の比 (0.05としてよい)

k_{hc} : 地震時保有水平耐力法に用いる設計水平震度

残留変位については、基本的に鉄筋コンクリートに準じて算出すればよいが、地震時保有水平耐力法を適用する場合に仮定する水平荷重-水平変位関係が若干異なるため、上式に示すとおり c_R 、 r および μ_R を変える必要がある。

3. 2 コンクリートを充填しない鋼製橋脚

コンクリートを充填しない鋼製橋脚については、鉄筋コンクリート橋脚と比べて大きな地震力を受けた場合の応答や抵抗メカニズム、じん性の評価等について未解明の部分がまだ多い。このため、現時点で鉄筋コンクリート橋脚と同じ信頼度をもって地震時保有水平耐力法による耐震設計法を取込んでいくのはむずかしいことから、地震以降実施してきた繰返し載荷実験結果^{2) 3)}等を踏まえて、構造細目を規定するとともに、非線形性を考慮した動的解析法により耐震性の判定を行うこととした。以下に、構造細目および動的解析による耐震性の判定方法について述べる。

(1) 構造細目

1) ぜい性的破壊モードを防ぐ構造

矩形断面および円形断面について、図-1に示したぜい性的な破壊モードを防ぐ構造細目の例を図-5に示す。

①は角部にコーナプレートを取付け閉断面構造とすることにより、変形がかなり進んでも角部の直線性を保持し、これにより角溶接部の割れを防ぐ構造である。②は角溶接そのものをなくすことにより、角部の裂けるモードの破壊を防ぐ構造である。③は角部の溶接を十分な溶込みを確保できる溶接継手とし、さらに板厚方向の機械的性質が保証された鋼材を使用した構造とすることにより、溶接部からの破壊を防ぐ構造である。ここで板厚方向の機械的性質とは、具体的には耐ラメラティア性能を指しており、基本的に最小限の品質が保証されていればよい。

④は母材の鋼管の座屈発生位置の周囲に隙間をあけて鋼板を巻立てることにより、局部座屈による変形量が一定値を超えると外側の鋼板に接触して座屈変形が多段化し、変形領域が分散されることにより変形の集中や割れを防ぐものである。⑤は縦リブにより提灯座屈を防止し、変形の集中を防ぐ構造である。⑥は鋼管の径厚比(板厚に対する半径の比)を小さく抑えることにより、鋼管の変形性能を向上させ、局部変形の集中による割れを防ぐものである。

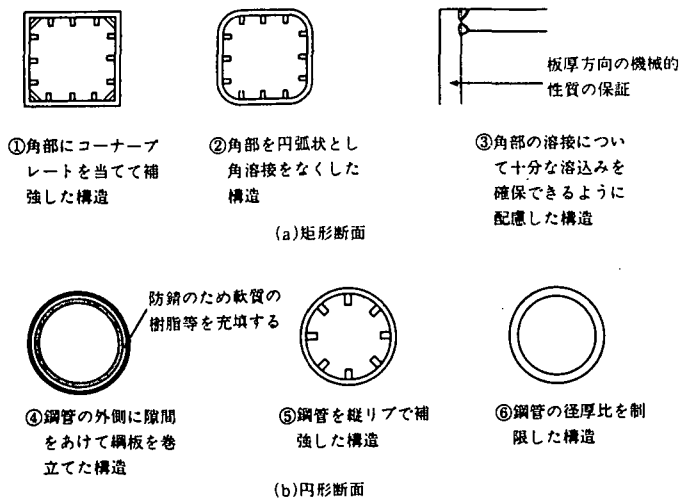


図-5 ぜい性的な破壊モードを防ぐ構造細目の例

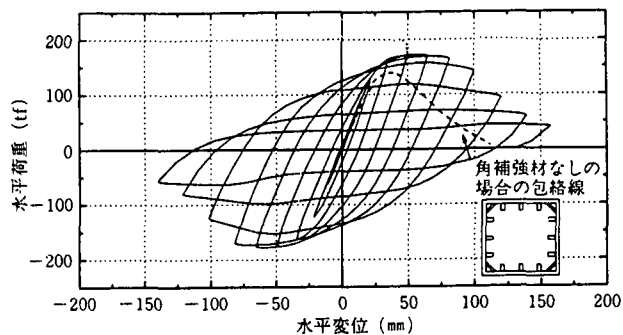
2) じん性を向上させる構造

1) に示した構造細目のうち、①④⑤および⑥については、ぜい性的な破壊モードの回避とともに、じん性の向上が期待できることが繰返し載荷実験により確認されている。このほか、既存の調査研究によると、補剛板の幅厚比を抑え、補剛材の剛性を高めることにより、じん性の向上が期待できることが確認されており⁷⁾、これらの構造細目も③と組み合わせることにより用いることができる。この点を参考に、今回、II 鋼橋編において橋脚基部のようにじん性の要求される部位の補剛板や鋼管については、必要条件として座屈パラメータを局部座屈の生じない範囲に制限した。

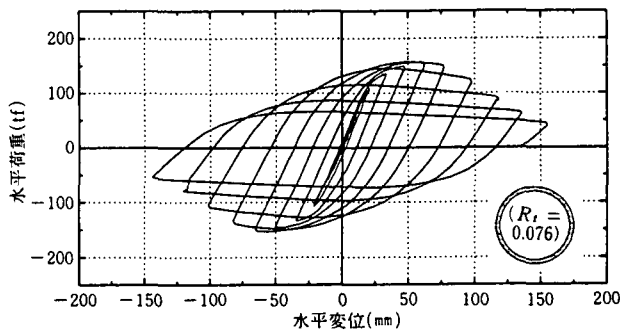
図-6 に①および⑥の構造の供試体の（外形寸法900×900mm、高さ約3,500mm）の正負交番繰返し載荷実験結果を示す。図中の実線は、①および⑥のヒステリシスループ⁸⁾であり、矩形断面については角補強材のない場合の実験結果を包絡線で示している。いずれも変形性能が大幅に向上している。

これらの構造細目①と⑥について、構造諸元および終局耐力および許容変位の与え方を図-7 に示す。矩形断面における角補強の考え方は前述のとおりであり、断面を構成する面板は局部座屈しないように諸元を与えている。また、円形断面における径厚比の条件については、今回の被災事例の調査結果を踏まえて定めたものである。矩形・円形両断面ともに、終局水平耐力および許容変位は、同一の構造細目を有する供試体の正負交番繰返し載荷実験結果を踏まえて与えたものである。

矩形断面の b 部については、鋼橋編3.2節の補剛板の規定に従い、角補強材の占有幅を考慮したうえで縦補剛材を等間隔に配置することを基本に設計することとした。補剛材の配置については、 b' 部を等分割することも考えられるが、実験結果によれば、角部に隣接する補剛材は、角補強材の近くに配置した方がじん性の面で効果的であることが確認されており、図に示す構造とした。



(a) 角補強構造を施した矩形断面橋脚



(b) 径厚比を制限した円形断面橋脚

図-6 コンクリートを充填しない鋼製橋脚供試体の水平荷重-水平変位履歴曲線

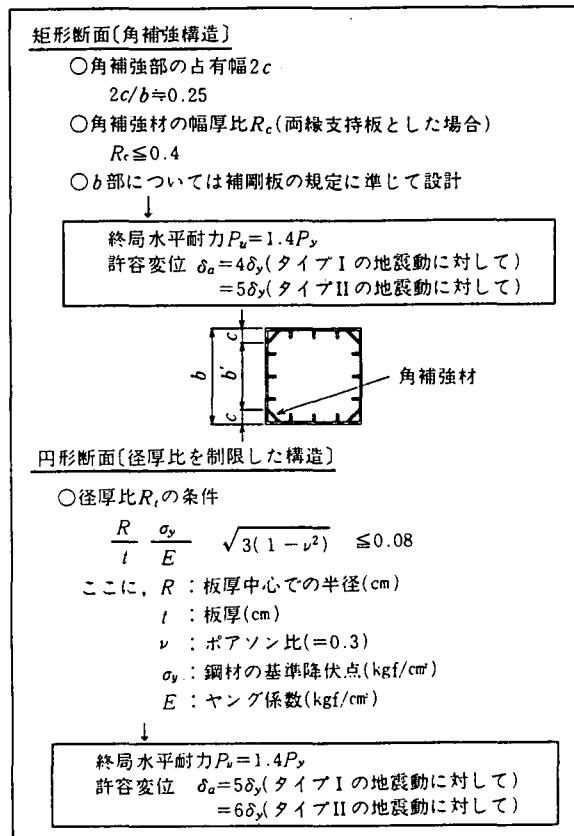


図-7 矩形・円形断面橋脚の構造諸元

なお、矩形断面橋脚の基部に車両の衝突時の変形防止を目的とした中埋めコンクリートを充填する場合には、前述のとおり充填部において補剛板が外側にはらみ出す変形モードが発生して角割れが生じ、鋼中空断面部分に進展するおそれがある。したがって、中埋めコンクリートを補剛板の変形が拘束されるダイヤフラム等の位置まで充填したり、角割れを防ぐ構造細目をコンクリート充填部分にも重なるように採用するなど、ぜい性的な破壊を防ぐための対策を施す必要がある。

(2) 動的解析モデルの設定と耐震性の判定

コンクリートを充填しない鋼製橋脚の動的解析における応答変位の許容値は、鉄筋コンクリート橋脚の考え方に準じて、繰返し載荷実験で得られた荷重-変位曲線に基づき地震動のタイプに応じて、次のとおり設定することとした。

①タイプIの地震動に対する応答変位の許容値

継続時間が長く繰返し回数が多いタイプIの地震動の特性を考慮し、耐力低下をほとんど起こさない領域の最大変位を目安とする。

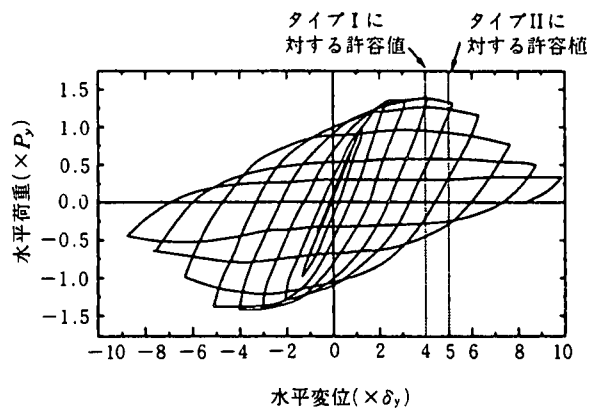
②タイプIIの地震動に対する応答変位の許容値

地震動の強度は大きい継続時間が短く繰返し回数が少ないタイプIIの地震動の特性を考慮し、耐力低下の小さい領域の最大変位を目安とする。

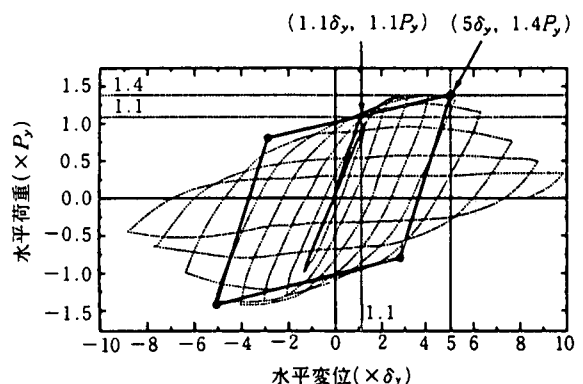
図-8は、角補強構造の実験結果に基づくタイプIIの地震動に対する応答変位の許容値と、動的解析モデルの設定例を示したものである。正負交番繰返し載荷実験より得られたヒステリシスループに合わせて、1質点1自由度系の簡易なバイリニア型のモデルに置き換えたものである。応答変位の許容値は、タイプIIの地震動の特性を考慮し、耐力低下のほとんどない範囲の最大変位 ($5\delta_y, 1.4P_y$) に設定している。

図-9(a)は、ハイブリッド載荷実験(擬似動的載荷実験)によって、今回の兵庫県南部地震において記録された地震波形(Ⅲ種地盤、東神戸大橋)を入力した場合の既設橋脚を模した試験体の応答特性を調べたものである。図-9(b)は図-8に示すように、バイリニアモデルを作成し動的解析を実施した結果の1例である。両者の応答特性および最大応答変位はおおむね一致しており、バイリニアモデル程度の簡易なモデルでも今回設定した許容変位の範囲内であれば、十分に地震時の挙動を評価できるものと考えられる。

なお、今回の改訂では動的解析を行う場合、耐震設計編6章において、3波形程度の入力地震動に対する解析結果の平均値を用いて照査するのがよいとしている。コンクリートを充填しない鋼製橋脚の場合にもこれに従い、3波形程度の解析結果により得られた断面力、応答変位および残留変位の各平均値を用いて耐震性の判定を行えばよい。また、橋脚の軸力比や柱としての細長比が大きい場合には、じん性が相対的に小さくなる傾向にあるので、その影響を考慮する必要がある。



(a)タイプIとタイプIIの地震動に対する許容変位



(b)動的解析に用いる復元力モデル
(タイプIIの地震動に対して)

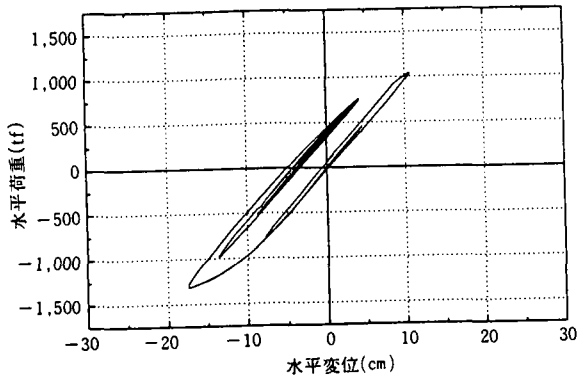
図-8 角補強構造における応答変位の許容値と復元力モデルの設定例

4. アンカー部の耐震設計

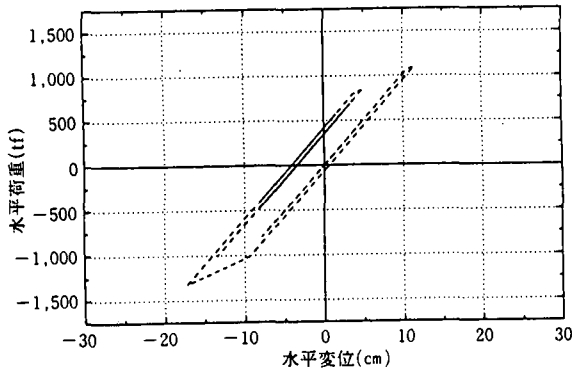
アンカー部については、橋脚に作用する力を基礎に伝達させる重要な構造であり、また、損傷を受けた場合には、その発見が困難であり、補修も大規模になることが予想されることから、できる限り塑性変形を残さないことを目標とし、橋脚の終局水平耐力と同等以上の耐力を有するように設計することを基本とした。

アンカー部の終局水平耐力については、実験例も少なく調査研究途上であり、今回の地震によるアンカーボルトの被災事例の調査結果等を参考に、コンクリートの応力度-ひずみ曲線および鉄筋の応力度-ひずみ曲線(コンクリート橋編2.2節)を準用し、ベースプレート下面のフーチングのコンクリート断面に対し、周囲のアンカーボルトを鉄筋に置き換えた鉄筋コンクリート断面として算出してよいこととした。ここでアンカー部の終局水平耐力は、アンカーボルトの降伏時またはコンクリートが圧縮強度に達した時点の耐力のうち、小さい方の値とする。

フーチングコンクリート内に埋込まれたアンカーフレームについては、従来より周囲のコンクリートの拘束等の影響を考慮しない簡易なモデルを用いた計算法により



(a)ハイブリッド実験結果



(b)バイリニアモデルによる動的解析結果

図-9 ハイブリッド実験結果と動的解析による応答履歴の比較

(既設鋼製橋脚を模した試験体に東神戸大橋の地震波形を入力した場合)

設計されているが、コンクリートが適切に施工されている場合、作用応力は計算値と比較して十分小さいことが確認されている。このため従来の簡易なモデルを用いてアンカーフレームを設計する場合には橋脚の終局水平耐力に対する設計に行わなくてもよいこととした。なお、アンカーフレーム以外の構造部位およびフーチングコンクリートについては、橋脚の終局水平耐力に対して適宜照査を行う必要がある。

また橋脚基部に車両の衝突時の変形防止を目的としたコンクリートを充填する場合には、実質的に橋脚基部の

終局水平耐力が鋼断面のみの場合と比較して大きくなるので、コンクリートを充填した鋼製橋脚の終局水平耐力の算定法を参考にして、中埋めコンクリートの影響を考慮する必要がある。

おわりに

今回の地震を契機として、地震以降の鋼製橋脚の耐力および変形性能に関する各種検討が行われ、その結果に基づき、本文に報告した変形性能を考慮した鋼製橋脚の耐震設計法が道路橋示方書に取り込まれた。ただし、鋼製橋脚の耐震設計法については検討途上であり、今後も被災事例の詳細な分析、動的および静的繰返し載荷実験および解析等の十分な調査研究の蓄積が必要と考えられる。

【参考文献】

- 1) 日本道路協会：「兵庫県南部地震により被災した道路橋の復旧に係る仕様」の準用に関する参考資料(案)、1995. 6.
- 2) 西川和廣、山本悟司、名取暢、寺尾圭史、安波博道、寺田昌弘：既設鋼製橋脚の耐震性能改善方法に関する実験的研究、構造工学論文集、Vol. 42A、1996. 3.
- 3) 西川和廣、山本悟司、上仙靖、安波博道、名取暢：鋼製橋脚の耐震補強に関する実験、阪神・淡路大震災に関する学術講演会論文集、1996. 1.
- 4) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V耐震設計編、1996. 12.
- 5) 西川和廣、村越潤、上仙靖、高橋実：鋼製橋脚の耐震設計の一手法について、土木学会 第2回阪神・淡路大震災に関する学術講演会論文集、1997. 1.
- 6) 兵庫県南部地震道路橋震災対策委員会：兵庫県南部地震における道路橋の被災に関する調査報告書、1995. 12.
- 7) たとえば、土木学会鋼構造委員会・鋼構造新技術小委員会・耐震設計研究WG：鋼橋の耐震設計指針案と耐震設計のための新技術、1996. 7.
- 8) 西川和廣、村越潤、上仙靖：鋼製橋脚供試体の繰返し載荷実験、橋梁と基礎、Vol.30、No.8、1996. 8.

(1997年3月31日受付)

SEISMIC DESIGN OF STEEL PIERS OF HIGHWAY BRIDGES

Kazuhiro NISHIKAWA, Jun MURAKOSHI, Yasushi JOSEN and Minoru TAKAHASHI

In Hyogo-ken Nanbu Earthquake of 1995, steel bridge piers were severely damaged for the first time. It is necessary to make clear of the seismic behavior of steel piers and to establish the design method. After the earthquake, large-scale biaxial static loading experiments were carried out and their several seismic retrofit methods were recommended. Based on the results of these research activities, the provisions for seismic design of steel piers were added to the Specifications for Highway Bridges, Part V Seismic Design, which were revised in 1996.11. This paper describes the basic concepts of seismic design of steel piers.