

1996年の道路橋示方書改訂の概要および道路橋の耐震設計

建設省土木研究所耐震研究室長

運上 茂樹

1. はじめに

平成7年1月の兵庫県南部地震は、各種の構造物に関東大震災以来、最大の被害を引き起こした。道路橋においても、橋脚の倒壊、橋げたの落下を始め、多数の橋梁で大きな被害が発生した。このような被害の経験を踏まえて、各種の設計基準類の改訂や既設構造物の耐震補強が行われてきている。道路橋の設計基準である道路橋示方書は平成8年11月に改訂された¹⁾。本文では、改訂された道路橋示方書の概要と道路橋の耐震設計の考え方について紹介する。

2. 道路橋示方書の改訂の経緯

平成7年1月17日に発生した兵庫県南部地震による被害の経験を踏まえ、平成7年2月27日には、「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（復旧仕様）」が、建設省より関係機関に通知された。復旧仕様は、兵庫県南部地震の直後に建設省の委託により被災原因の究明等を目的として設置された「兵庫県南部地震道路橋震災対策委員会²⁾」の審議を経て策定されたものである。復旧仕様では、兵庫県南部地震による被災の教訓を踏まえ、各構造部材の強度を向上させると同時に変形性能を高めて橋全体系として地震に耐える構造を目指し、震度法による設計に加えて地震時保有水平耐力を照査することとされた。さらに、兵庫県南部地震により観測された最大の地震動に対しても耐えられる構造であることを動的解析によって照査することが規定された。その後の道路橋の耐震設計については、道路橋示方書の改訂が行われるまでの当面の措置として、平成2年の道路橋示方書V耐震設計編を基本にするとともに、上記の復旧仕様が準用されてきたところである。

道路橋示方書の改訂に関しては、平成7年4月より日本道路協会橋梁委員会において検討が進められてきた。「兵庫県南部地震道路橋震災対策委員会」からの今後の道路橋の耐震設計に関する提言と上記の復旧仕様や復旧仕様の準用に係る参考資料³⁾、さらに土木学会による土木構造物の耐震基準等に関する提言⁴⁾などを基本として、その後の橋の耐震設計に関する調査研究の成果等を加えて道路橋示方書としてとりまとめる作業を進め、平成8年11月1日に建設省より道路橋示方書の改訂が通知されたものである。

3. 道路橋示方書の改訂の基本方針

今回の改訂は、平成7年兵庫県南部地震で実際に観測された最大の加速度が観測された地震動に対しても耐えられる構造とすることを目標とした復旧仕様の考え方を基本に、その後の実験による検証や設計法の明確化等を加えて、新しい耐震設計編としてとりまとめられた。

改訂の基本事項は以下のとおりである。

- 1) 設計上考慮すべき地震動として、平成7年兵庫県南部地震のようなマグニチュード7級の内陸直下型地震による地震動を追加
- 2) 設計法としては、復旧仕様の考え方を基本に橋全体系として変形性能を向上させ、耐震性を高めるため、鉄筋コンクリート橋脚に加えて、鋼製橋脚、基礎等について、地震時保有水平耐力法による設計の考え方を導入

4. 道路橋示方書の主な改訂事項

表-1は平成2年の耐震設計編、復旧仕様および改訂概要を比較したものである。平成2年の耐震設計編からの主な改訂事項は以下の通りである。

表-1 平成2年の耐震設計編、復旧仕様および改訂概要の比較

項目	平成2年耐震設計編	復旧仕様・参考資料	改訂概要
1. 設計地震力			
1) 震度法	・標準0.2g	・標準0.2g	・標準0.2g
2) 地震時保有水平耐力の照査	・最大応答加速度0.7~1g (地盤加速度でおおむね0.3~0.4g)	・兵庫県南部地震による最大地震動 ・最大応答加速度1.5~2g (地盤加速度でおおむね0.6~0.8g) (動的解析の簡便法による)	・平成2年道路橋示方書、復旧仕様 ・参考資料の両者の地震力を考慮 ・大正12年関東地震による東京周辺での地震動、平成7年兵庫県南部地震により観測された地震動のような、特性の異なる2種類の地震力を考慮
2. 重要度	・道路種別で分類 ①主要地方道以上の橋、一般都道府県道、市町村道のうち重要な橋 ②①以外	・道路種別と構造・機能で分類	・復旧仕様・参考資料を基本に、重要度が標準的な橋(A種の橋)と特に重要度が高い橋(B種の橋)に区分
3. 解析法			
1) 震度法	・実施	・実施	・震度法は初期寸法の設定とし、地震時保有水平耐力法に重点
2) 地震時保有水平耐力法	・1本柱形式コンクリート橋脚についてのみ実施を推奨	・地震の影響の大きい構造部材について実施	・復旧仕様・参考資料を基本 ・鉄筋コンクリート橋脚、鋼製橋脚、基礎、支承等に適用
3) 動的解析	・地震時の挙動が複雑な橋に対して実施を推奨(震度法による耐震設計の照査)	・基本的に実施(地震時保有水平耐力法による耐震設計の照査) ・非線形の影響を考慮	・地震時の挙動が複雑な橋、地震時保有水平耐力法の適用性が限定される場合に動的解析を実施
4. 液状化・流動化	・液状化の判定範囲 (D_{50} :0.02~2.0mm) ・流動化について解説に注意規定	・液状化の判定範囲 (D_{50} :0.02~20mm, D_{10} :2.0mm以下) ・流動化の影響を考慮	・液状化の判定法(判定範囲、地震力、地盤定数の低減方法) ・流動化の判定法と流動力の設定 ・液状化・流動化を考慮した基礎および橋の設計法
5. 免震設計	・地震の影響の低減を期待する構造 ・免震設計法マニュアル(案)を参考(設計地震力は低減しない)	・可能な限り適用(高架橋のように橋が連担する場合) ・設計地震力の低減	・復旧仕様・参考資料を基本(免震支承および免震橋の設計法を規定)
6. 鉄筋コンクリート橋脚	・帯鉄筋の間隔は、一般部30cm、段落し部15cm程度(中間帯鉄筋の規定なし)	・帯鉄筋の増強(間隔15cm以下、中間帯鉄筋の配置) ・段落しの原則廃止 ・拘束効果を考慮したコンクリートの $\sigma\sim\epsilon$	・復旧仕様・参考資料を基本 ・コンクリートのせん断応力度の寸法効果の考慮 ・塑性ヒンジを考慮した変形解析
7. 鋼製橋脚	・震度法による設計のみ	・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の照査法	・コンクリートを充填した鋼製橋脚は、復旧仕様・参考資料による地震時保有水平耐力法 ・コンクリートを充填しない鋼製橋脚に必要な構造細目と動的解析 ・アンカー部の設計法
8. 基礎	・震度法による設計のみ	・地震時保有水平耐力の照査の実施(杭基礎、ケーソン基礎)	・復旧仕様・参考資料を基本 ・基礎の変形性能の照査法
9. 支承部構造	・震度法による設計のみ	・ゴム支承を推奨 ・地震時保有水平耐力を考慮した設計	・復旧仕様・参考資料を基本 ・支承形式に応じて設計許容値を設定
10. 落橋防止構造	・落橋防止装置と S_g のいずれかを設置	・落橋防止装置と S_g の設置 ・落橋防止装置の複数設置 ・落橋防止装置の強度を強化 ・緩衝機能を付与 ・大きい方の支間長で S_g を算定	・復旧仕様と参考資料を基本 ・落橋を確実に防止できる構造とし、落橋防止システムとして規定 ・桁かかり長(S_g)、落橋防止構造、変位制限構造、段差防止構造、ジョイントプロテクター

(1) 耐震設計の基本方針

表-2は、耐震設計で考慮する地震動と目標とする橋の耐震性能、およびこれを検討するための耐震計算法を示したものである。

耐震設計で考慮する地震動としては、橋の供用期間中に発生する確率が高い地震動および供用期間中に発生する確率は低い大きな強度をもつ地震動の2段階の地震動を考慮する。ここで、橋の供用期間中に発生する確率が高い地震動としては、比較的生じる可能性の高い中規模程度の地震による地震動とし、従来の耐震設計において震度法に用いる設計震度として規定されてきた地震力を踏襲している。また、橋の供用期間中に発生する確率は低い大きな強度をもつ地震動としては、前述のように平成2年の耐震設計編において規定された大正12年の関東地震の際の東京周辺における地震動のように発生頻度が低いプレート境界型の大規模な地震による地震動に加え、平成7年兵庫県南部地震のように発生頻度が極めて低いマグニチュード7級の内陸直下型地震による地震動を考慮するものとされた。

これらの地震動に対して、橋の耐震設計は、橋の重要度に応じて必要とされる耐震性能を確保することを目標として行うものである。橋の重要度は道路種別と橋の構造・機能により分類され、重要度が標準的な橋については、致命的な被害を防止することを目標とし、また、高速道路、一般国道、緊急輸送道路等における特に重要度が高い橋では、限定された損傷にとどめることを目標としている。

表-2 耐震設計で考慮する地震動と目標とする橋の耐震性能

耐震設計で考慮する地震動		目標とする橋の耐震性能		耐震計算法	
		重要度が標準的な橋 (A種の橋)	特に重要度が高い橋 (B種の橋)	静的解析法	動的解析法 (地震時の挙動が複雑な橋)
橋の供用期間中に発生する確率が高い地震動		健全性を損なわない		震度法	時刻歴応答解析法 応答スペクトル法
橋の供用期間中に発生する確率は低い大きな強度をもつ地震動	タイプⅠの地震動 (プレート境界型の大規模な地震) タイプⅡの地震動 (兵庫県南部地震のような内陸直下型地震)	致命的な被害を防止する	限定された損傷にとどめる	地震時保有水平耐力法	

(2) 耐震設計法

道路橋の耐震設計では、構造部材の強度を向上させると同時に変形性能を高めて橋全体として地震に耐える構造系を目指す必要がある。このため、耐震設計は震度法だけではなく地震時保有水平耐力法によっても行うこととされた。地震時保有水平耐力法については、平成2年の耐震設計編に鉄筋コンクリート橋脚の地震時保有水平耐力の照査の規定として取り入れられたが、平成7年兵庫県南部地震による被害状況から、構造系のじん性の確保の重要性が強く認識されたため、これを鉄筋コンクリート橋脚に限らず、地震の影響の大きい橋脚、基礎、支承部、落橋防止システムなどの構造部材等に適用を広めると同時に、照査法ではなく設計法として位置付けが明確にされたものである。

図-1は、標準的な耐震設計の流れを示したものである。

(3) 動的解析の活用

静的解析法である震度法や地震時保有水平耐力法は、地震時の挙動が複雑ではない橋に対しては、実用上十分

な精度で地震時の橋の挙動を簡便に表わすことができる。

しかしながら、特殊な形状、構造を有する橋などでは、震度法や地震時保有水平耐力法では地震時の橋の挙動を十分に表すことができない場合がある。このため、このような地震時の挙動が複雑な橋に対しては、震度法や地震時保有水平耐力法によって耐震設計した結果を動的解析により照査するのがよいこととされた。

また、非線形性が複数箇所に生じる橋等でエネルギー一定則の適用性が限定される場合など、地震時の挙動が複雑で、地震時保有水平耐力法による耐震設計法の適用性が限定される橋については、動的解析結果に基づいて適切に耐震設計するものとされた。

表-3は、地震時の橋の挙動の複雑度と動的解析の位置付けを示したものである。特に地震時の挙動が複雑な橋に対して、動的解析が耐震設計の中で重要な役割を占めるようになった。

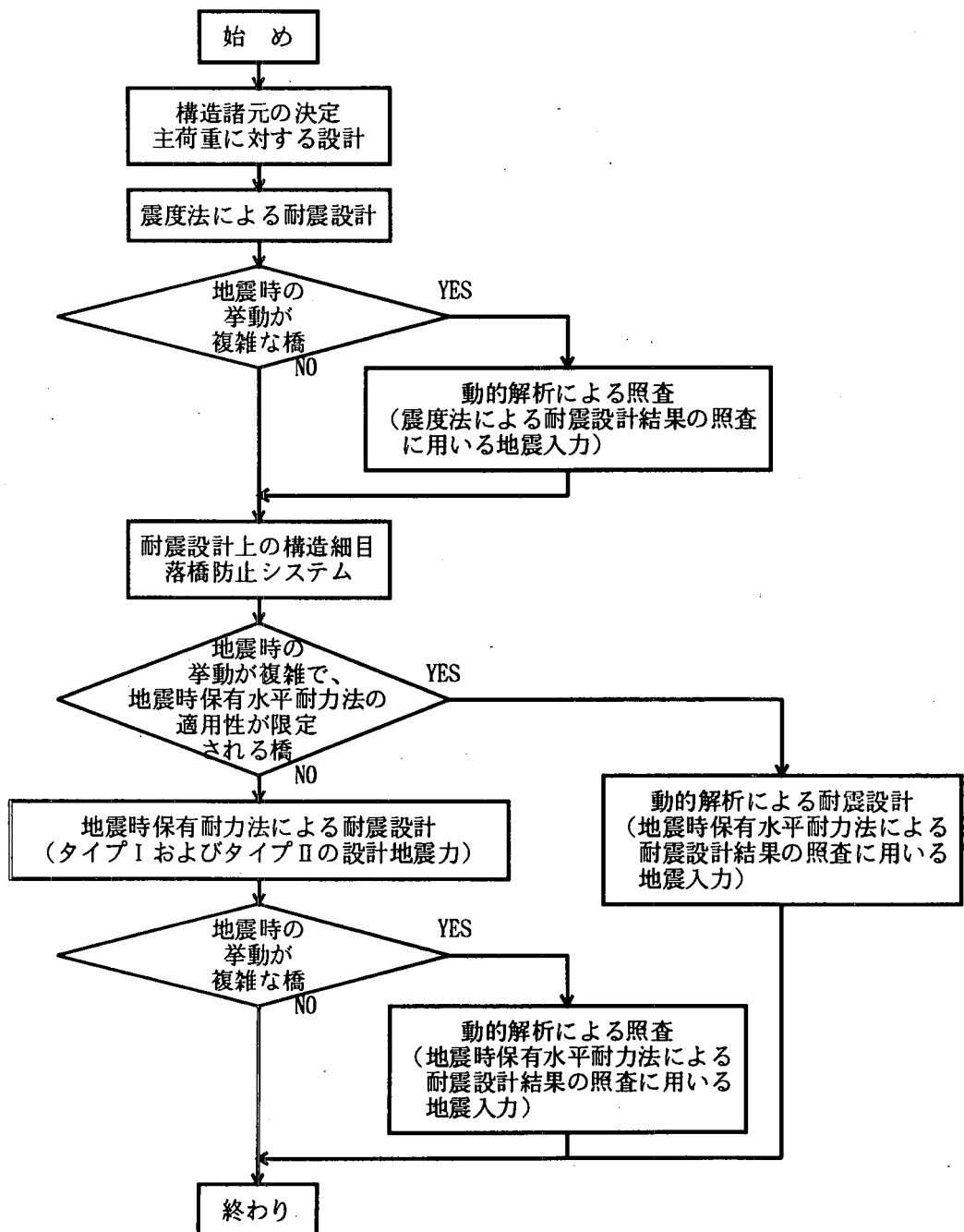


図-1 標準的な耐震設計の流れ

表-3 地震時の橋の挙動の複雑度と動的解析の位置付け

橋の動的特性 耐震計算法		地震時の挙動が複雑 ではない橋	地震時の挙動が複雑な橋	
			静的解析が適用可能な場合	静的解析の適用性が限定される場合
静的 解析	震度法	○	○	△ (初期値寸法の設定としての適用)
	地震時保有 水平耐力法	○	○	△ (構造特性に応じて適用を検討)
動的解析		-	○ (静的解析による耐震設計結果の照査)	○ (動的解析による耐震設計)
適用する橋の例		・右記以外の橋	・固有周期の長い橋 ・橋脚高さが高い橋 ・免震設計を採用した橋	・斜張橋, 吊橋 ・上・中路式アーチ橋

注) ○：耐震設計に用いる耐震計算法， -：一般に耐震設計に用いる必要のないもの，
△：初期値寸法の設定や構造特性に応じて適用する耐震計算法

(4) 構造部材の耐震設計

1) 液状化・流動化に対する耐震設計

液状化判定対象土層、液状化の判定に用いる地震力、液状化強度、耐震設計上の取扱い方法が見直され、液状化が生じる場合の耐震設計法として規定された。特に、兵庫県南部地震の経験を踏まえ、従来液状化に対する判定が不要とされていた砂礫地盤等粒形の大きい地盤に対しても液状化の判定を行うものとされた。また、液状化の判定に用いる地震力についても従来水平震度として0.15が用いられていたが、実際に地盤に生じ得る加速度を用いるとともに、地盤の液状化強度についても実験に基づき実際に近い強度曲線を用いるように改訂された。

また、橋に影響を与える流動化に対する耐震設計上の取扱い方法に関する規定が新たに設けられ、流動化現象を地盤からの流動力として評価し、基礎の変形を照査する方法が示された。

2) 免震設計

従来具体的な規定がなかった免震設計法について、地震力の分散と高減衰化に重点を置いた免震設計法として新たに規定された。免震設計の採用が適切な橋、適切ではない橋が示されるとともに、免震設計を用いた場合の設計地震力、免震支承の設計法、けた端部の遊間等の構造細目が具体的に規定された。

3) 鉄筋コンクリート橋脚

復旧仕様の規定を基本として、帯鉄筋による拘束効果を見込んだコンクリートの応力度～ひずみ関係が導入されるとともに、水平力～変位関係の算定方法が改訂された。また、寸法効果を考慮したせん断耐力の評価法、じん性を向上させるための配筋細目が明記されるとともに、鉄筋コンクリートラーメン橋脚の地震時保有水平耐力法による設計方法が規定された。

4) 鋼製橋脚

復旧仕様に規定された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および変形性能の算定方法が取り入れられた。また、コンクリートを充填しない鋼製橋脚に対しては、ぜい性的な破壊を防ぎ、じん性を向上させるための構造細目が規定された。

5) 基礎

杭基礎、ケーソン基礎等各種形式の基礎に対する非線形域の挙動を含めた耐力、変形性能の照査方法を定め、

地震時保有水平耐力法に基づく基礎の耐震設計法が規定された。

6) 支承部

従来明確な設計方法の規定がなかった支承部について、設計地震力と鋼製支承やゴム支承の設計法、および支承に取付く構造の設計方法が規定された。

7) 落橋防止システム

落橋を確実に防止するために、従来の落橋防止構造の機能を明確にし、けたかかり長、落橋防止構造、変位制限構造、および段差防止構造が落橋防止システムとして新たに位置付けられ、これらの設計方法が規定された。

5. 地震時保有水平耐力法による耐震設計

構造物の耐用期間中にまれに起るような大地震に対しても全く損傷を受けないような構造物を作ることは技術的にも、また、コストなどの面でも必ずしも現実的な対応とはいえない。このため、大地震に対しては、多少の損傷を許容し、これによって地震の震動エネルギーを適切に吸収することができれば、致命的な損傷を防ぎ、構造物として安全かつ合理的な設計が可能になる。このため、道路橋の耐震設計では、構造部材の強度を向上させると同時に変形性能を高めて橋全体として地震に耐える構造系を目指すために、耐震設計は震度法だけではなく地震時保有水平耐力法によっても行う。

地震時保有水平耐力法については、平成2年の耐震設計編に鉄筋コンクリート橋脚の地震時保有水平耐力の照査の規定として取り入れられたが、兵庫県南部地震による被害状況から、構造系のじん性の確保の重要性が強く認識されたため、これを鉄筋コンクリート橋脚に限らず、地震の影響の大きい橋脚、基礎、支承部、落橋防止システムなどの構造部材等に適用を広めると同時に、照査法ではなく設計法として位置付けが明確にされている。

道路橋示方書の改訂の中でも、耐震設計の基本が震度法から地震時保有水平耐力法に移行した点が最も重要な改訂事項の1つということができる。

地震時保有水平耐力法の位置付けを構造物の破壊現象とあわせて示すと次のようになる。図-2は、鉄筋コンクリート橋脚模型の正負交番繰返し載荷実験による橋脚の水平変位と損傷の進展状況の一例を示したものである^{6) 6)}。ここで、 $1\delta y$ は、橋脚の降伏変位で、橋脚基部の鉄筋が降伏する時に橋脚天端に生じる変位である。震度法では許容応力度法で設計することから、降伏変位はほぼ震度法で生じる変位に相当する。実験ではこの変位の整数倍で載荷変位を漸増させながら損傷状況や耐力特性等を調べる。

これによれば、曲げ破壊型の鉄筋コンクリート橋脚の損傷は、ひびわれの発生、ひびわれの進展、かぶりコンクリートの剥離、軸方向鉄筋の座屈・破断によって最終的に破壊に至る過程をたどる。

鉄筋コンクリート橋脚の水平耐力と水平変位の関係は、図-3に示す通りとなり、弾性状態から、軸方向鉄筋の降伏により水平耐力が一定になり、その後のかぶりコンクリートの剥離や軸方向鉄筋の座屈・破断等により水平耐力が低下するというように、損傷の進展とともに水平抵抗が変化する。構造物に損傷が生じるということに立ち入って耐震設計を行うためには、このような構造物の挙動（損傷の進展、水平耐力～水平変位関係）を十分に把握することが重要である。

このように、地震時保有水平耐力法は、実際に起こり得る地震力を考慮して、構造物に損傷が生じ、破壊に至るという過程を追跡して設計する耐震設計法であり、耐震設計で考慮する地震と構造部材や構造物に許容される損傷度を定めて設計するものである。

6. 鉄筋コンクリート橋脚の耐震設計

図-4は、鉄筋コンクリート橋脚の耐震設計フローを示したものである。以下、耐震設計の流れを順を追って説明する。

(1) 破壊モードの判定

鉄筋コンクリート橋脚の損傷モードは大きくは曲げ破壊型とせん断破壊型に分類することができ、これらの破

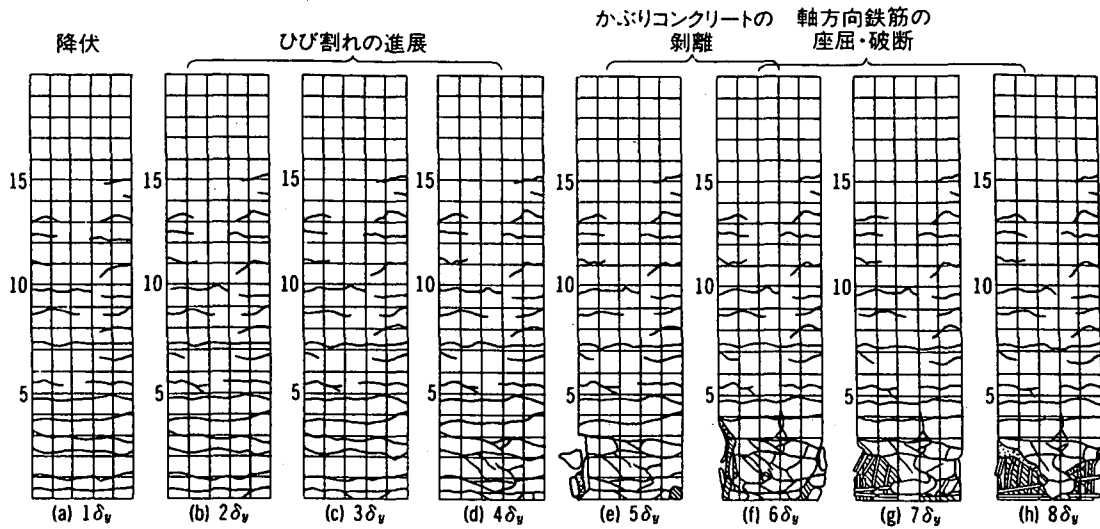


図-2 鉄筋コンクリート橋脚の損傷の進展の一例

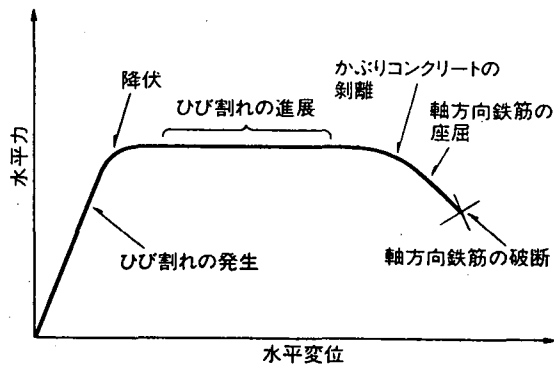


図-3 鉄筋コンクリート橋脚の水平耐力と水平変位の関係

壊モードは、橋脚の有している曲げ耐力やせん断耐力の大きさによって決められる。曲げ破壊型では、非線形域に入っても水平耐力を保持できるが、せん断破壊の場合にはぜい性的な破壊をするので、非線形域のじん性を期待できない。このため、基本的には曲げ破壊型となるように必要なせん断耐力を向上させることが重要である。

道路橋示方書では、図-5に示すように曲げ耐力とせん断耐力の大きさによって破壊モードを分類している。曲げ破壊型、せん断破壊型の他に、曲げ損傷からせん断破壊型に移行する損傷タイプについても分類するように規定されている。

(2) 地震時保有水平耐力法による安全性の判定

地震時保有水平耐力法では、鉄筋コンクリート橋脚に対しては、式(1)を満足するように耐震設計を行う。

$$P_a \geq k_{h0} \cdot W \quad (1)$$

ここに、

P_a : 橋脚の地震時保有水平耐力 (tf)

k_{h0} : 地震時保有水平耐力法に用いる等価水平震度

W : 地震時保有水平耐力法に用いる等価重量 (tf) で、上部構造部分の重量と橋脚躯体の重量から算出される。

式(1)は、地震時保有水平耐力法による橋脚の耐震設計では、当該部材の地震時保有水平耐力が等価水平震度に

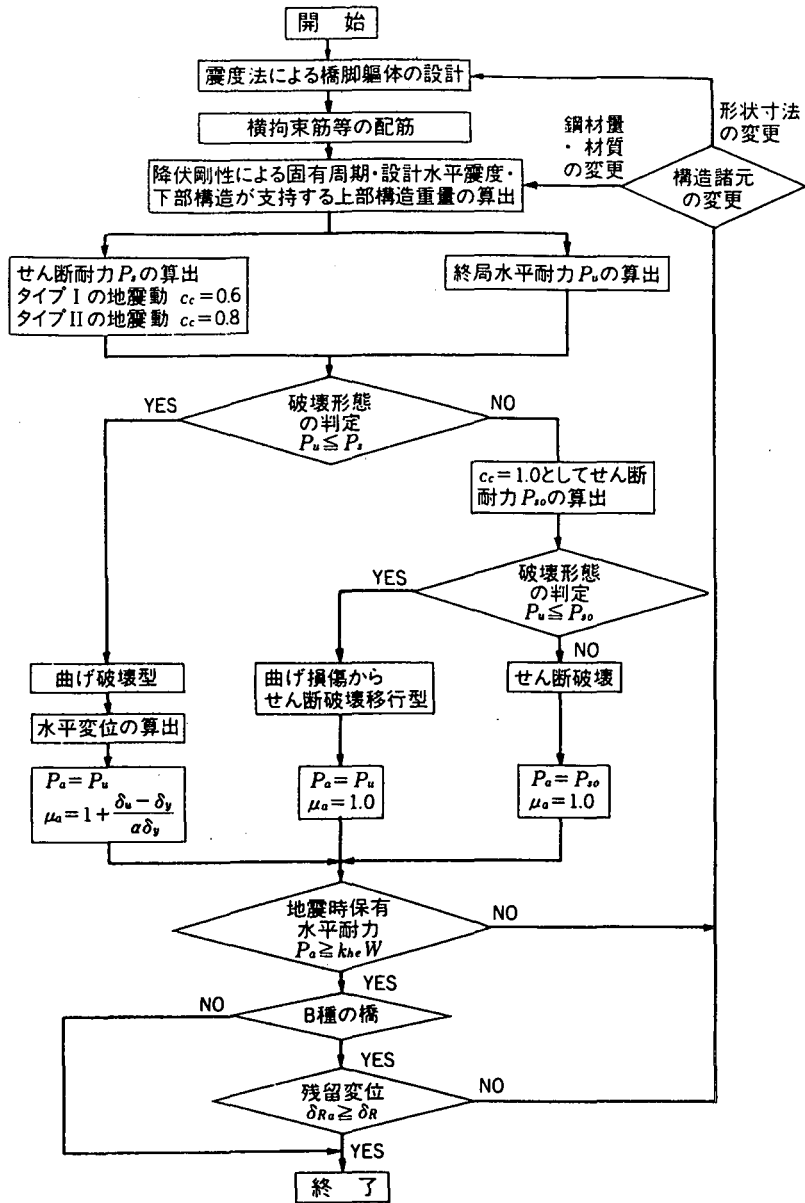


図-4 鉄筋コンクリート橋脚の耐震設計フロー

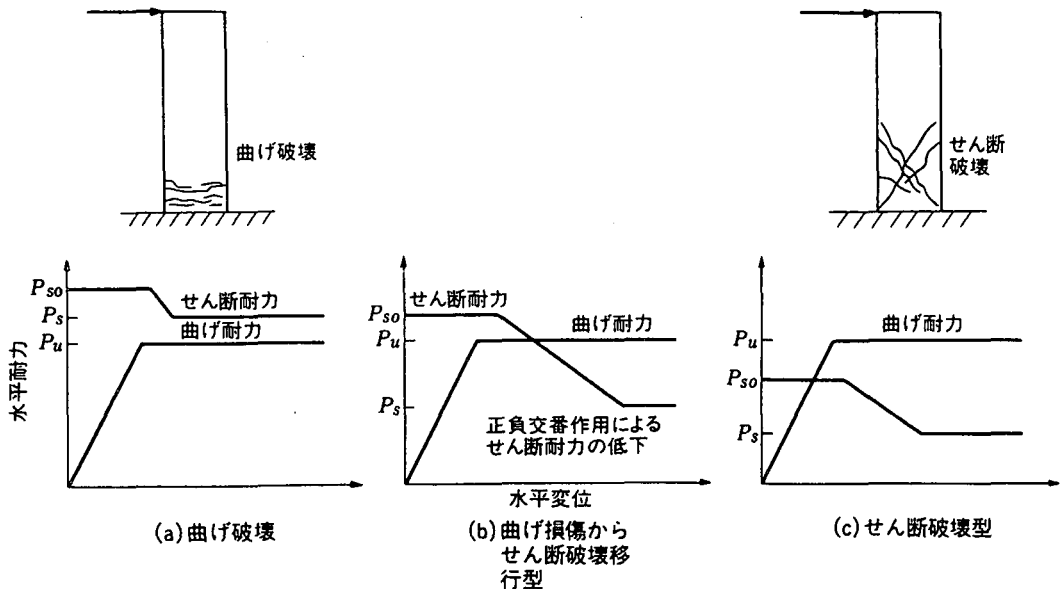


図-5 耐力と破壊モードの関係

構造物の等価重量を乗じて求められる地震力を上まわるように設計することを示している。

地震時保有水平耐力法に用いる等価水平震度 k_{hc} は、橋脚の許容塑性率 μ_a に応じて式(2)により求める。

$$k_{hc} = \frac{k_{hc}}{\sqrt{2\mu_a - 1}} \geq 0.4c_z \quad (2)$$

$$k_{hc} = c_z k_{hc0} \quad (3)$$

ここに、

k_{hc} : 地震時保有水平耐力法に用いる設計水平震度

k_{hc0} : 地震時保有水平耐力法に用いる設計水平震度の標準値

μ_a : 橋脚の許容塑性率

c_z : 地域別補正係数

図-6は、設計水平震度の標準値を示したものである。地震動のタイプに応じてそれぞれ設計水平震度が規定されている。

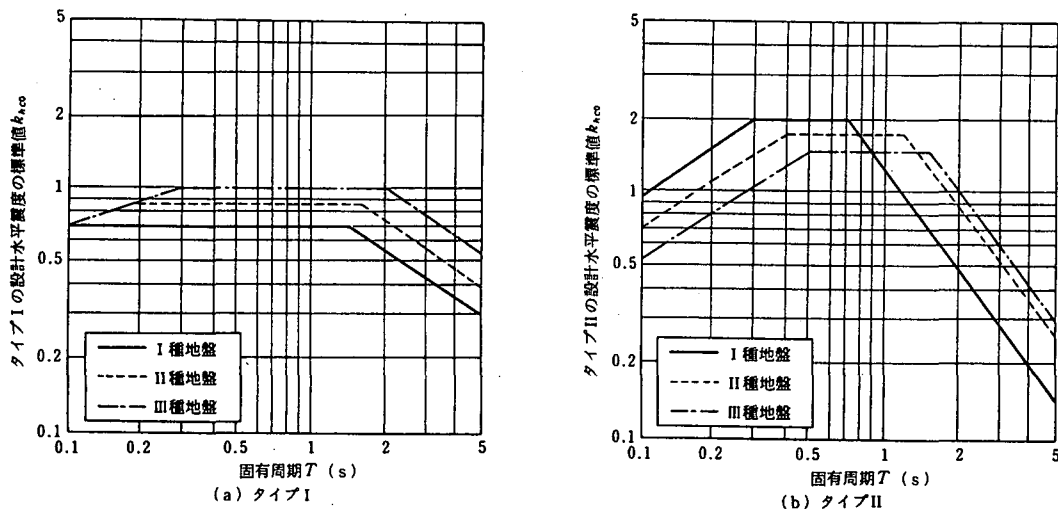


図-6 設計水平震度の標準値

(3) 橋脚の残留変位の照査

特に重要度が高い橋に対しては、式(4)により地震後の残留変位を判定する。

$$\delta_R \leq \delta_{Ra} \quad (4)$$

ここに、

δ_R : 橋脚の残留変位 (m) で、式(5)により算出する。

$$\delta_R = c_R (\mu_R - 1) \delta_y \quad (5)$$

δ_{Ra} : 橋脚の許容残留変位 (m) で、原則として橋脚下端から上部構造の慣性力の作用位置までの高さの1/100とする。

c_R : 残留変位補正係数 (=0.6)

μ_R : 橋脚の応答塑性率で、式(6)により算出する。

$$\mu_R = \frac{1}{2} \left\{ \left(\frac{k_{hc} W}{P_a} \right)^2 + 1 \right\} \quad (6)$$

δ_y : 橋脚の降伏変位 (m)

残留変位に対する照査を行うのは、橋脚の非線形域において大きなじん性を許容する設計を行えば、それだけ大きな非線形応答変位が生じることになり、これに伴って地震後に橋脚に生じる残留変位が大きくなるためである⁷⁾。地震後に下部構造躯体に生じる残留変位が大きくなると、復旧工事が困難となることなどが懸念される。

このため、地震時保有水平耐力法による耐震設計では、過度のじん性に頼った設計とならないように式(4)によって残留変位に対する照査を行うものである。

許容残留変位としては、原則として橋脚下端から上部構造の慣性力の作用位置までの高さの1/100としている。兵庫県南部地震により被災した橋脚では、橋脚の残留変位が橋脚高さの1/60程度、または、15cm程度以上生じた場合には、残留変位を強制的に修復することが困難であること、支承部の嵩上げが必要になる等復旧が困難であることから橋脚の取り替えを必要とした事例があったこと、また、B種の橋は地震による損傷を限定された範囲にとどめ、橋としての機能の回復をより速やかに行うことを目標とすることから、これらの点を考慮して許容残留変位は1/100と定められている。

(4) 終局ひずみの設定

鉄筋コンクリート橋脚の変形性能を向上させるためには、帯鉄筋によるコンクリートの拘束が重要である。鉄筋コンクリートの橋脚の終局条件をどのように定めるかが非常に重要なポイントとなるが、道路橋示方書では、帯鉄筋の拘束を考慮したコンクリートの応力度～ひずみ曲線を用いている⁸⁾。この関係式は、大型模型を用いた1軸圧縮実験から円形断面、矩形断面に対して求められたものである。

(5) 配筋細目

鉄筋コンクリート橋脚では、帯鉄筋を増強し、軸方向鉄筋に囲まれるコアコンクリートの破壊を防ぐことにより、じん性を大幅に向上させることができるので、道路橋示方書では、じん性を向上させるために必要な横拘束筋の配筋細目等が規定されている。

配筋の基本的な考え方としては、大きな地震力を受けてコンクリートが損傷するような場合でも軸方向鉄筋や帯鉄筋により内部のコンクリートを十分に拘束し、必要なせん断耐力や自重を支える機能を保持しようというものである。このため、かぶりコンクリートが剥離しても帯鉄筋が簡単にはずれないようにフックをつけて内部コンクリートに定着したり、中間帯鉄筋で拘束することが重要である。

7. おわりに

本文では、改訂された道路橋示方書の概要と道路橋の耐震設計について紹介した。

今回改訂された道路橋示方書では、従来の震度法という耐震設計法から、実際に起こり得る地震力を設計に導入し、構造物に損傷が生じ、破壊に至るということまでを考慮して耐震設計する地震時保有水平耐力法への大きな転換となったことが最も重要なポイントと考えられる。

関東大震災以後、道路橋に対して最大の被害をもたらした平成7年兵庫県南部地震の教訓を忘れずに、道路橋のより高い安全性と耐久性に確保のためにさらなる耐震技術の開発と向上が望まれるところである。

【参考文献】

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書V耐震設計編、平成8年12月
- 2) 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震災に関する調査報告書、平成7年12月
- 3) (社)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)、平成7年6月
- 4) (社)土木学会：土木学会耐震基準等に関する提言集、平成8年5月20日
- 5) 建設省土木研究所：RC橋脚の動的耐力に関する実験的研究(その1～その5)、土木研究所資料、第2232号、1985年、第2279号、1986年、第2504号、1987年、第3210号、1993年、第3319号、1995年
- 6) 川島一彦、長谷川金二、長島博之、小山達彦、吉田武史：鉄筋コンクリート橋脚の地震時保有水平耐力の照査法の開発に関する研究、土木研究所報告第190号、平成5年9月
- 7) 川島一彦、Gregory A. MacRae、星隈順一、長屋和宏：残留変位応答スペクトルの提案とその適用、土木学会論文集、No. 501/I-29、1994年10月
- 8) 星隈順一、川島一彦、長屋和宏：鉄筋コンクリート橋脚の地震時保有水平耐力の照査に用いるコンクリートの応力～ひずみ関係、土木学会論文集、No. 520/V-28、1995年8月