

# CALTRANS（カリフォルニア交通局）における 道路橋の耐震設計について

本田 明成\*, 当麻 庄司\*\*, Lian Duan\*\*\*, 倉 真也\*\*\*\*

\*正会員 株式会社 CRC 総合研究所（〒060-0001 札幌市中央区北1条西6丁目辰星大通ビル）

\*\*フェロー Ph.D. 北海学園大学工学部土木学科（〒064-0926 札幌市中央区南26条西11丁目）

\*\*\* Ph.D. Division of Structures, California Dept. of Transp. (Sacramento, CA 94274-0001, U.S.A.)

\*\*\*\*学生会員 北海学園大学工学研究科修士課程（〒064-0926 札幌市中央区南26条西11丁目）

カリフォルニア交通局(Caltrans)は、道路橋の耐震設計について米国では先進的な役割を果たしている。本論文は、Caltrans の設計基準の体系と概要について紹介するとともに、現在の基準の見直し状況についても説明する。そこでは道路橋を“普通の橋”と“重要な橋”に分類し、機能評価用と安全評価用の2段階の地震動に対してサービス度と損傷度についての性能基準を設けている。本文ではまた耐震設計における地震動、変位解析、構造部材の保有性能等について Caltrans の基本的な方針を述べる。この耐震設計の考え方は、過去の震災経験に基づく新しい研究の成果が含まれており、今後日本の耐震設計を論じる上で大いに参考になると思われる。

*Key Word : Bridge Design, Seismic Design, Performance-Based Design, Highway Bridges*

## 1. 序 論

日本では、1995年の兵庫県南部地震によりそれまでの道路橋の耐震設計が根本的に見直されるようになってきた。アメリカでは、それより先にここ30年間に大きな地震を経験し、耐震設計が大きく進歩した。その活動の中心の一つとなったのがカリフォルニア交通局(California Department of Transportation, Caltrans)であり、本論文は、そこで開発された設計基準の経緯と概要について紹介する。

アメリカの道路橋設計基準は、これまで Caltrans、AASHTO (American Association of Highway and Transportation Officials) および ATC (Applied Technology Council) の3者がそれぞれの立場から密接に絡み合って開発されてきている<sup>1)</sup>。その中で Caltrans は州政府としての立場から ATC に設計基準の見直しや開発を依頼し、新しい研究の成果を積極的に取り入れてきている。そして、AASHTO は Caltrans の基準を参考にした設計基準を作っている。

Caltrans の設計基準体系は柔軟にできており、状況の変化や新しいアイデアを取り入れやすくなっている。本文で紹介するこれらの設計基準は、日本の設計基準を論じる上で大いに参考になるものと思われる。

## 2. アメリカの耐震設計の経緯

AASHTO の橋梁耐震設計は、ロスアンジェルス地方に大きな被害を与えた1971年のサンフェルナンド地震の前までは、カリフォルニア構造技術者協会によって作られた建築物の水平力の考え方に基づいていた。1971年のサンフェルナンド地震以後、Caltrans は1973年に活断層の地域性、地盤の地震応答そして橋の動的応答を含んだ新しい耐震設計基準を作成した。1975年に AASHTO は、Caltrans の1973年規定を少し改定した暫定基準を採用し、米国の全地域に適用した。その頃、FHWA (Federal Highway Administration) は ATC に全国的に適用可能な橋梁の耐震設計指針の開発を委託した。この設計指針は1981年に完成し、ATC-6指針<sup>2)</sup>として知られている。

AASHTO は、続いてこの ATC-6 指針を採用し、最初は1983年のガイド示方書として、後には1991年の道路橋示方書として組み込んだ。(同時に1981年の加速度係数地図が1988年のU.S.測地学会作成のものに置き換えられた。)そして、1995年には AASHTO の第16版道路橋示方書<sup>3)</sup>が出版されている。Caltrans の現在の示方書としては1993年版<sup>4)</sup>が出されている。

最初の ATC-6 が作られてからの15年間に地震工学において大きな進歩がみられた。また1983年のガイド示方

書の利用や、1989年のローマブリータ地震、1990年のコスタリカ地震、1991年のフィリピン地震そして1994年のノースリッジ地震を通してかなりの経験を積んできた。その間多くの研究が行われ、新たに性能設計の考え方が重要な橋の耐震設計に導入されるようになってきた。

現在 AASHTO は、2つの設計基準を発行している。第16版道路橋示方書および LRFD 橋梁設計示方書(第1版、1994年)<sup>5)</sup>である。これらの耐震設計基準の基本方針を以下に示す。

- 現実的な地震動と地震力を用いる
- 小規模および中規模の地震に対して、構造物は重大な被害を起さずに弾性範囲で抵抗する
- 大規模な地震に対して、橋全体または部分的にも破壊しない
- 可能ならば、被害は検査や修理が容易に行えるところに限定する

アメリカでは、橋梁のほとんどがコンクリート橋であり、したがって設計示方書も主としてコンクリート橋を念頭において書かれていると言うことができる。

### 3. アメリカの耐震設計開発の現状

1992年 FHWA の研究費により NCEER (National Center for Earthquake Engineering Research) は、2つのプロジェクトをスタートした。第1のプロジェクトの目的は既存の道路網の耐震性と耐震補強のガイドラインを見直すことであり、第2のプロジェクトは新しく建設される道路のための耐震設計を改善することである。

ATC は、この第2のプロジェクトの遂行者として現在の耐震設計基準を見直し、評価を行った (ATC-18)。その結果が1997年に NCEER の報告書<sup>6)</sup>としてまとめられている。ATC-18 プロジェクトの全体展望は、現在の設計法や基準の調査、耐震設計基準を開発するための研究、そして耐震設計の背後にある概念から成る。特に基礎の設計に注目している。

ATC-18 プロジェクトチームは、当初現在の設計基準の見直しと新基準およびそれらの基準に基づいている設計概念に重点を置いて調査した。それは米国の基準とともに日本、ニュージーランドとヨーロッパにおける最新の基準も含まれている。そして、後には米国の橋梁耐震設計の将来案を作ることもなった。

### 4. Caltrans の耐震設計体系

Caltrans の Bridge Design Specifications (BDS)<sup>4)</sup> は、公式なカリフォルニア州の道路橋設計示方書である。これは、たとえば10年程度の期間をおいて定期的に改定される。一方、この BDS を補足するものとして、Bridge Design Aids (BDA), Bridge Design Details (BDD), Memo to Designers (MTD)<sup>7)</sup>そして Bridge Design Practice (BDP)がある。BDA は設計に当たっての資料や

データを提供するものであり、BDD は設計例として構造詳細図を示している。これらは設計の方針や詳細について述べており、必要に応じて適宜追加修正される。また MTD はいろいろな目的のために各 Bridge Design Branch (A,B,C の3つがある) によって用意されるもので、そのいくつかの例として耐震関係のものを以下に示す。

- MTD 3-1 深い基礎 (1996,5)
- MTD 5-1 橋台 (1996,5)
- MTD 5-2 隔壁橋台 (1996,5)
- MTD 6-1 柱解析の考察 (1996,5)
- MTD 6-5 橋脚壁 (1996,5)
- MTD 9-3 既設橋の拡幅 (1991,4)
- MTD 20-1 耐震設計の方針 (1996,6)<sup>7)</sup>
- MTD 20-2 仮橋の耐震要求 (1989,11)
- MTD 20-3 ヒンジ部と支承部における落橋防止装置 (1994,5)
- MTD 20-4 耐震補強のガイドライン (1995,10)
- MTD 20-11 承認申請の手続き

これらの BDS に対する補足資料は、臨機応変に新技術に対応して発行され、やがて定期的に BDS に反映されていく。以上のほかに、1つのあるトピックについて BDS, BDA, BDD および MTD から関連する事項をまとめたものとして、たとえば SDR (Seismic Design References) 耐震設計資料集<sup>8)</sup>がある。また、“普通の橋”に対する耐震設計基準として MSDC (Minimum Seismic Design Criteria)<sup>9)</sup>が現在検討されている。“重要な橋”に対しては、プロジェクトごとに耐震設計の性能基準が設けられるが、その例としては SFOBB (San Francisco-Oakland Bay Bridge)<sup>10)</sup>基準がある。

Caltrans は、ATC に BDS の改定作業を依頼し、地震荷重、構造応答解析そして構成部材の耐震設計に関して見直しを行った。そこでは、特に鉄筋コンクリートと鋼構造部材、基礎そして支承の設計に関して注目している。その結果は、1996年の ATC-32 レポート<sup>11)</sup>としてまとめられている。

### 5. Caltrans の耐震設計方針

#### 5.1 概説

Caltrans の耐震設計の方針は、MTD 20-1<sup>7)</sup>の中で性能基準、考え方、理論および実施設計等についてまとめられている。MTD20-1 はまだ draft version として現在検討中のものであるが、以下そこで述べられている Caltrans の考え方を記す。

橋が地震時や地震後にどのように応答するかは極めて複雑である。橋の挙動を知ることや性能を改善するための方法は、常に開発され続けられている。このように改善が続いていることから、Caltrans は定期的に耐震設計と基準を見直し新しくしている。設計者は、新しく取り入れられた技術や研究結果を知っておく必要があり、また新しいアイデアを OSD (Office of Structures

Division) に提案することが推奨されている。その手続きは MTD 20-11 にまとめられている。

MTD20-1 の耐震設計方針は、カリフォルニアで設計された全ての橋に適用される。橋は耐震性能の望ましいレベルによって、“重要な橋”と“普通の橋”に分類する。そして、“普通の橋”は、“標準橋”と“非標準橋”に区分する。橋の分類や区分によって、どの方法により耐震要求性能やそれに伴う構造耐力を予測するのかが決まる。

## 5.2 橋の分類

“重要な橋”は、“普通の橋”よりも耐震性能のレベルが高く設計される。“重要な橋”は、次の項目の1つ以上を満足する橋と定義される。

- 緊急施設への通り道として地震後の生命安全のために必要
- 通れなくなると重大な経済的損害を被る
- 管轄地区事務所(Districts)の緊急時計画で必要と公的に指定されている

Districts は、責任を持って“重要な橋”を指定し、公式に要請文書を提出しておかなければならない。ESC (Engineering Service Center) は、それを評価して、費用、展望および日程を検討する。ESC と Districts は、設計に先立ってその指定について合意を得ておかなければならない。

“重要な橋”の耐震設計基準は、ケースバイケースでプロジェクトチームによって決められ、OSD によって承認される。その設計基準では、表-1 にまとめた性能レベルを決める設計パラメータを確立しなければならない。プロジェクトで特定する設計基準を承認する手続きは、MTD 20-11 に記載されている。“重要な橋”と指定されない限り、その他の橋はすべて“普通の橋”とみなされる。

## 5.3 橋の区分

設計者は、その“普通の橋”が“標準橋”なのか“非標準橋”なのかを決める責任がある。タイプ選定審査会がタイプ選定会議において提供された情報に基づきその決定を再審査する。“非標準橋”は、地震時に複雑な応答をする形態によって特徴づけられる。“非標準橋”の特徴の例を以下に示す。

- 非整形な形状
  - ・ 複数層の橋
  - ・ 分岐している上部工
  - ・ 複数の上部工タイプをもつ橋
- 普通でない骨組み
  - ・ バランスの悪い質量や剛性分布
  - ・ アウトリガー ・ 大きい斜角
- 普通でない土質条件
  - ・ 軟弱土 ・ 液状化がし易い ・ 断層の近く

“普通の橋”は、以上のような非標準的な特徴を含まないならば“標準橋”として区分される。

## 5.4 性能基準

すべての橋は、以下に示す耐震性能基準を満たすように設計しなければならない。

表-1 性能基準

現地の地震動	普通の橋のサービス度	重要な橋のサービス度
機能評価用地震動	直ちにできる、補修可能な損傷	直ちにできる、微少な損傷
安全評価用地震動	制限を受ける、重大な損傷	直ちにできる、補修可能な損傷

もし“普通の橋”が安全評価性能基準を満たしていれば、機能評価を行う必要はない。

サービスと損傷の程度は、表-2 と 3 のように定義される。

表-2 サービス度

直ちにできる	地震後ほとんど直ちに通常の交通が可能になる
制限を受ける	制限を受けた通行(例、車線の削減、緊急車のみの通行)が地震後数日の内に可能になる。数ヶ月の内には全面通行ができる。

表-3 損傷度

微小	基本的に弾性の範囲
補修可能	機能を失うかもしれない最小限のリスクを伴う補修可能な損傷
重大	崩壊するかもしれない最小限のリスクを伴い、補修には通行止めを必要とする損傷

地震時の性能を確保するために、次の基本概念がすべての橋の耐震設計に用いられる。

### (1) 崩壊限界状態

崩壊限界状態は、それ以上の変形の増加により自重に抵抗できなくなる状態と定義する。崩壊とは、通常1つ以上の部材が破壊するか不安定になることと特徴づけられる。すべての橋は、設計地震によって生じる変形に抵抗できるように設計しなければならない。構成部材は、崩壊を避けるために十分な強度と靱性を確保できるように設計し、すべての力(軸力、曲げ、せん断、ねじり)と変位(回転、水平、垂直)を考慮する。

### (2) 靱性

靱性とは、終局変形と初期降伏における変形との比として定義される。靱性は、エネルギー吸収と逸散に対する構造要素の能力を測るのに優れた尺度である。靱性の大きい要素は、鉛直荷重に対する耐荷力を維持しながら

大きな変形を受けることができ、破壊に至る前にかなりな永久変形に耐えることができる。

“普通の橋”は、経済的な制約と不確実性を考慮すると、設計地震を受ける間に弾性域に留まるように設計しないのが妥当である。Caltrans は、靱性と弾性強度後の有利性を設計に取り入れている。しかし変形は、横変形能力を超えないように制限されている。

### (3)キャパシティデザイン

キャパシティデザイン<sup>1)2)</sup>とは、脆性的な破壊変形モードと指定した靱性破壊変形モードとの間に適切な強度の余裕をもたせることと定義される。この概念は、上部工と基礎の横力抵抗に余裕強度をもたせ、非弾性曲げ回転を受けるように設計された橋脚の塑性挙動を制限することによって達成される。

### (4)予定した損傷位置

予定した非弾性挙動は、地震後の検査と修理が容易にできる部分に生じるようにしなければならない。非弾性挙動の望ましい部分としては、多くの橋の場合、柱、橋脚壁、背壁、翼壁等である。コンクリート上部工の非弾性挙動は、検査と修理が困難であり望ましくない。さらに、上部工に損傷が生じると、橋を修理してサービス状態にするのが難しくなる。

### (5)基本的な弾性挙動

靱性を発揮する部材あるいは犠牲になる部材として明示的に設計されなかった部材は、地震荷重下において基本的に弾性に留まるように設計しなければならない。この基本弾性部材における非弾性の応答は、部材を補強できる能力を失うことのないような小さなクラックか材料ひずみ増加に限定しなければならない。

## 5.5 変位靱性法

変位靱性法によれば、設計者は構造物や個々の部材が地震時の変形に耐える十分な能力をもつかどうかを確かめることができる。橋の変形能力は、曲げヒンジの形成と回転能力に依存している。非弾性 pushover 静解析は、部材の幾何学的非線形・非弾性の荷重変形挙動を模式化することによって橋の塑性応答を予測する。これによって技術者は、橋のヒンジができる位置と順序が決定でき、適当な位置に適当な靱性を準備しておくことができる。非弾性曲げ挙動の程度は、塑性ヒンジ部分の許容ひずみを制限することによってコントロールできる。“普通の橋”の変形は、線形弾性解析によって予測できる。“重要な橋”の変形予測は、その橋ごとに決める。

## 5.6 構造部材の性能要求

### (1)地震動の表現

安全評価用地震動 (*Safety Evaluation Earthquake*): “普通の橋”の地震動は、決定論的な評価法に基づかなければならない。“重要な橋”の安全評価地震動は、決定論的

あるいは確率論的に評価する。その決定はその橋ごとに行い、そして“重要な橋”の設計条件に組み込む。

### 機能評価用地震動 (*Functionality Evaluation Earthquake*):

これは、確率論的に評価する地震動である。“重要な橋”の超過確率は、その橋ごとに決める。

### 最大生起地震 (*Maximum Credible Earthquake, MCE*):

最大生起地震は、最新の地質学情報に基づき起こりうる最大の地震と定義される。橋地点の地震動は、地震の規模、地質および震源地からの距離によって決まる。

### (2)地震力

“普通の橋”の水平加速度は、弾性応答スペクトル (ARS) 曲線から予測する。ARS 曲線の形や大きさは加速度、減衰比および地質条件による。

橋の質量効果は、自重に基づく。設計者は、拡幅、再舗装、障壁、遮音壁のような質量効果に加えられる将来の変更を考慮しなければならない。

### (3)鉛直加速度

非標準的な構造部材をもっていたり普通でない現地条件や地震断層の付近の橋は、鉛直地動からかなりの加速度を受けることが観測されている。もしこれらの条件が存在するならば、鉛直加速度を考慮しなければならない。“普通の橋”の鉛直加速度は上部工に作用する等価な静鉛直力によって近似できる。

### (4)合成効果

変位要求は、水平加速度の多軸方向成分の合成効果を含まなければならない。鉛直振動に敏感な橋には、挙動の現実的な仮定に基づき鉛直と水平の合理的な重ね合わせを用いなければならない。

### (5)変位

変位は、有効な部材剛性でモデル化した橋の線形弾性解析によって予測してよい。橋の動的性質 (質量と剛性) を設計するとき、基本固有周期が 0.7 ~ 3 秒になるように試みるべきである。等価変位則は、この周期範囲内の靱性的な橋に対しては、線形弾性解析によって変位が合理的に予測できることを指摘している。

線形弾性解析は、周期の長い橋ほど非弾性変位を大きく予測する傾向にある。周期の長い ( $T > 3$  秒) 構造物の変位は、等価変位則の適応外となり動的解析で得られる変位に限定するべきである。

周期の短い橋に対しては、線形弾性解析は非弾性変位を小さく予測する傾向にある。周期の短い橋の変位を正確に予測できないことは、地震応答を制限する絶縁部材や犠牲部材のような防御システムを用いることによって克服できる。隣接する要素への要求を減らすことになるこのような概念を用いるとき、全体的また部分的な構造安定が維持されなければならない。

### (6)力の要求

設計荷重は、隣り合う部材の接合部を通して伝達される塑性ヒンジの要求から決定されなければならない。線

形弾性解析から算定した力を用いてはならない。線形弾性解析は、降伏に関する力の限界状態を認識できず、また仮想的に大きなモーメントとせん断力を計算している。

## 5.7 構造部材の保有性能

モーメント曲率解析は、靱性部材の強度と変形の能力を計算するのに使用する。強度設計は、設計地震時に基本的に弾性域に留まるように設計した部材の曲げ能力を計算するためには十分である。

### (1)保有性能

全部材の強度能力は、最も確率性の高い期待される値としての材料強度に基づき、また予想される曲げ損傷を考慮しておかなければならない。隣接する靱性部材の塑性ヒンジが形成され、そこからくる断面力の要求値に抵抗する非靱性部材は、基本的に弾性域で十分な強度をもたなければならない。部材能力における P- $\Delta$  効果の影響は照査しておかなければならない。もし P- $\Delta$  効果が大きければ部材を再設計することになる。

### (2)余裕強度

塑性ヒンジ部分に隣接する部材や継ぎ手には、余裕強度が要求される。余裕強度は、隣り合う部材間の材料性質の違いや、見積もった塑性ヒンジの能力を超えて強度が増加する可能性を考慮しなければならない。

### (3)剛性

剛性における将来の変更、たとえば拡幅、擁壁、障壁、舗装、側溝あるいは洗掘等、による有害な効果を現在の設計に含んでおく必要がある。

### (4)塑性ヒンジの性能

変位靱性法は、塑性ヒンジ部分で脆性挙動をすることなしに回転変位を受けることができる橋の能力に頼っている。すべての塑性ヒンジの回転能力は“安全な”性能レベルに限定しなければならない。塑性ヒンジの能力は、最も可能性の高い材料性能に基づかなければならない。塑性ヒンジ部分は繰り返し荷重下での強度の低下を最小にしなければならない。

## 6. Caltrans の解析方針

### 6.1 BDS

BDS<sup>9)</sup>は、通常の構造の耐震設計に対して等価震度法を認めているが、カリフォルニアのほとんどの橋は動解析を用いて設計している。この手法は、主として三次元の質点構造系の応答スペクトル解析を用いている。動解析は、コンピュータの利用が設計者にとって容易になったため、要求されていないときでも行われている。

#### (1)モデル化

弾性動解析の橋梁構造のモデル化は、いくつかの経験則がある。質量は、通常スパンの端部と中央部で3つ以上の質点に置き換えられる。同様に、柱は中間に2つ以上の質点に置き換えられる。設計断面力を求める場合は

総断面を用い、塑性ヒンジ位置での変位を決める場合は、クラック断面を用いる。土と構造物の相互作用をシミュレーションするために基礎部にバネを用いることは普通になってきている。力と変位の適合を達成するために、特に橋台の点においてバネ定数を試行錯誤的に調整することがよく行われている。

#### (2)地震荷重

地震動の方向の不確かさを考慮するために Caltrans の BDS は、橋軸方向と直角方向の地震から生じる力を合成する。主方向の力は、直角方向の力の30%と合成される。

#### (3)修正係数

動解析あるいは等価震度法による弾性力は、靱性と危険度を考慮するために構成部材と周期に依存する Z 係数によって修正される。

## 6.2 MSDC

MTD 20-1<sup>7)</sup>は“普通の橋”に対して性能目標を設定しているが、MSDC<sup>9)</sup>(Minimum Seismic Design Criteria)はそれを満たすのに必要な耐震設計要求事項を規定するものである。MSDCは2部に分けられ、第1部は標準の橋に適用され、第2部(現在検討中)はそこで定義される非標準的な橋に適用される。この基準は、耐震設計の最低限を規定する。それぞれの橋は設計上独自の特徴をもっており設計者は、各橋の設計や解析に必要な精度レベルや手法をケースバイケースで決定しなければならない。

#### (1)等価静解析

等価静解析は、均整の取れたスパン割や剛性が均等配分されていて、応答が一つの支配的なモードでモデル化できるような場合に最適である。

地震荷重は、個々のフレームに作用する等価な静的な水平力として仮定する。合計の作用力は ARS と分配された重量 W の積に等しく、しかし 0.4W 以上にとる。

#### (2)弾性動解析

弾性動解析は、等価静解析が動的挙動を予測するのに適当な解析レベルでないときの構造物の変位要求値を求めるのに用いる。適当な応答スペクトルを用いたスペクトル応答解析を行わなければならない。解析に考慮する自由度やモードの数は、すべての応答の限界を捉えるのに十分でなければならない。モード変位のたし合わせは、CQCにより求める。

#### (3)非線形静解析

非線形静解析は、pushover 解析<sup>13)</sup>を使用し、限界状態に近くて信頼性の高い構造物やフレームの変形性能を決めたいときに用いられる。非線形静解析は、増分静解析であり、横方向に押しして塑性を起こさせることにより土の効果を含めた部材の全体的な非線形挙動を把握する。各増分においては、すべての可能な段階を通して崩壊メ

カニズムに達するまでフレームを横に押す。非線形静解析では、変形性能に自重効果を含めなければならない。

## 7. 結語

構造物の応答を評価することは、地震中橋は激しい振動を受け時刻とともに損傷が積み重なることを評価することである。“もしこの部分が壊れたならどうなる”という質問の答えを用意すべきである。経済的には、橋の部材が地震時に損傷しないようにするのは実際的ではなく、構造物の崩壊につながる破損を起こしてはならないということである。このためには、崩壊点まで橋の強度を減じることなく地震動のエネルギーを吸収する塑性をもたせることが必要である。以上のような基本的な耐震設計の目的を達成するために Caltrans の耐震設計基本概念、崩壊限界状態、塑性、キャパシティデザイン、予定した損傷位置、基本的な弾性挙動等の考え方は、合理的といえる。

### 参考文献

- 1) 大塚久哲、外：米国における橋梁耐震設計の考え方の概要と地震時断面力の計算例、橋梁と基礎、98-3.
- 2) ATC-6: Seismic Design Guidelines for Highway Bridges, Applied Technology Council, 1981.
- 3) AASHTO: Standard Specifications for Highway Bridges, 16<sup>th</sup> Edition, American Assoc. of State Highway and Transportation Officials, 1995.
- 4) Caltrans: Bridge Design Specifications Manual, California Department of Transportation, 1993.
- 5) AASHTO:LRFD Bridge Design Specifications, First Edition, American Association of State Highway and Transportation Officials, 1994.
- 6) NCEER: Seismic Design Criteria for Bridges and Other Highway Structures, Technical Report NCEER-97-0002, (ATC-18), April 30, 1997
- 7) Caltrans : Memo to Designers 20-1, Seismic Design Policy, Draft Version 3.0, California Dept. of Transportation, June 1998.
- 8) Caltrans : Seismic Design References, Calif. Dept. of Transportation, Division of Structures, March 1997.
- 9) Caltrans : Minimum Seismic Design Criteria (MSDC), Vol. 1 for Standard Bridges, Vol. 2 for Nonstandard Bridges (under development), Calif. Dept. of Transportation.
- 10) Lian Duan : Chapter 16: Performance-Based Seismic Design Criteria for Bridges, Handbook of Structural Engineering, CRC Press ,1997.
- 11) ATC-32: Improved Seismic Design Criteria for California Bridges: Provisional Recommendations, Applied Technology Council, 1996.
- 12) 川島一彦：地震時保有耐力法の高度化に求められる今後の研究課題、第1回地震時保有耐力法に基づく橋梁の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集、1998年1月。
- 13) 宇佐美 勉：Pushover 解析による鋼製橋脚の地震時保有水平耐力照査、第1回地震時保有耐力法に基づく橋梁の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集、1998年1月。

(1998年8月17日受付)

## A STUDY ON THE CALTRANS' CONCEPTS OF SEISMIC DESIGN FOR HIGHWAY BRIDGES

Akinari HONDA, Shouji TOMA, Lian DUAN and Shinya KURA

The California Department of Transportation (Caltrans) plays a pioneering role in developing the seismic design policy of highway bridges in US. The present paper overviews Caltrans' design concepts and a series of design criteria and standards, and describes the current state of reviewing them. Highway bridges are categorized into "Ordinary bridges" and "Important bridges", for each of which the seismic performance criteria are specified to withstand the two levels of ground motions: Safety Evaluation Earthquake and Functionality Evaluation Earthquake. Caltrans seismic design policy contains new concepts and provides useful information when discuss the Japanese seismic design.