

I - B 465 CALTRANS (カリフォルニア交通局) の道路橋耐震設計の考え方

北海学園大学工学部 フェロー 当麻庄司
CRC 総合研究所(株) 正会員 本田明成
カリフォルニア交通局技術部 Tom Ostrom

1. はじめに

CALTRANS の耐震設計法は、米国における道路橋耐震設計の代表的なものとして我が国でもこれまで注目されてきた^{1) 2)}。筆者の一人はこの度その CALTRANS に 2 ヶ月余の間(1998 年 12 月~1999 年 2 月)滞在する機会を得、CALTRANS の耐震設計への取り組みについて調査することができたので報告する。

2. CALTRANS 耐震設計基準の改定作業の現状

CALTRANS では BDS (Bridge Design Specifications) への補足資料として、“設計者へのメモ (Memo to Designers, MTD)”を出している。この MTD は橋梁設計部門のブランチチーフ 3 人の承認により発行される内部資料である。通常の場合必要に応じてブランチチーフのサインのみで発行されているが、耐震設計に関しては特別委員会を構成して現在検討中であり、その構成員は耐震設計スペシャリストを中心にその他のスペシャリストおよび橋梁設計部門に属する 14 のセクションの代表者から成っている。ここで述べる

“Memo to Designers 20-1 Seismic Design Methodology”は CALTRANS の耐震設計の基本を示しており、1999 年 2 月現在まだブランチチーフのサインを得るには至っていないが、まもなく正式に発行される予定である。

一方、MTD 20-1 に付録として添付される SDC (Seismic Design Criteria) は、“普通の橋”で“標準橋”に分類される橋に対してその性能基準を具体的に規定するものであり、1999 年 8 月の完成を目標にしている。その他の“重要な橋”あるいは“非標準橋”は別途ケースバイケースで定めるとしている。これらは内部資料とはいえ、カリフォルニア州のほとんどの橋がそれに従って設計されることになる。そして MTD 20-1 は現在まだ細部においては検討中であるものの、その基本方針はすでに実際の設計に反映されている。

3. Memo to Designers 20-1

3. 1 耐震設計の基本理念

(1) 崩壊限界状態

CALTRANS の耐震設計の最大の特徴は、設計の安全性を変位で規定する変位靱性法の立場を取っていることである。これまで、構造設計においては大抵の場合作用力と抵抗力の比較で安全性を照査していたが、CALTRANS では構造物の崩壊限界状態を変位で定義し、地震時にその崩壊限界状態に陥らないようにすることを基本理念としている。すなわち、耐震設計は地震によって生じる変形に耐えることを目的としている。そして、崩壊限界状態とはそれ以上の変形が起こると自重に耐えられなくなる点と定義する。また、崩壊は通常 1 つ以上の部材が破壊するか不安定になることで起こるとしている。

(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。靱性部材とは、塑性変形の繰り返しに対して強度や剛性の大きな低下はなく挙動できる部材である。“普通の橋”に分類された橋は、経済的な制約と不確実性を考慮すれば設計地震を受ける間に構造全体が弾性域に留まるようには設計するべきではない。そこで CALTRANS は構造物中に靱性部材を設け、その部材の靱性と弾性強度後の有利性を設計に取り入れている。橋の全体系で最も望ましい靱性挙動の形は、繰り返し履歴の中でエネルギー吸収ができることである。これは内部的には曲げ部材(靱性部材)の塑性ヒンジによって、外部的には免震支承やダンパーによって得られる。

(3) 予定した損傷位置

橋の全体系の設計では修理や検査の難しい上部構造と基礎に十分な強度をもたせ、地震時の塑性挙動を

キーワード: 耐震設計、構造設計、橋梁設計

〒064-0926 札幌市中央区南 26 条西 11 丁目北海学園大学工学部 (Tel: 011-841-1161 FAX: 011-551-2951)

たとえば橋脚や免震装置等に限定する設計法（キャパシティデザイン）を推奨している。靱性部材として非弾性挙動を期待する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。

4. SDC

CALTRANS は、SDC において次の全体変位に関する安全基準を満足しなければならないとしている。

$$\Delta_{Demand} < \Delta_{Capacity} \quad (1)$$

$\Delta_{Capacity}$ は、構造物の最初の塑性ヒンジが性能限界に到達したときの変位とする。

耐震の安全基準をこのように従来の力による規定ではなく変位によったのは新しい方向であるといえる。その主たる理由は、変位の方が力よりも地震時の構造物の挙動を現実的に捉えることができるからである。

ここで CALTRANS と道路橋示方書の保有水平耐力設計法を比較してみると、

CALTRANS : (変位靱性法) $\Delta_D < \Delta_C$

道路橋示方書 : (力低減法) $k_{he} W < P_a$

要求性能

要求性能

ARS から作用力を求める（弾性解析）。

ARS から設計震度を求める（弾性解析）。

弾性解析と変位一定則から変位を求める。

設計震度（作用力）をエネルギー一定則（等価水平震度）により低減する。

変位一定則の適用範囲 $0.7 < T < 3.0$

保有性能

保有性能

Pushover 解析（非線形静解析）

Pushover 解析（非線形静解析）

M- Φ 解析

M- Φ 解析

この比較を見ると両者の最も大きな違いは、変位靱性法では ARS(弾性解析)から求める荷重に対して変位一定則を用い、力低減法では同様の荷重に対してエネルギー一定則を用いていることである。力低減法は塑性性を考慮すれば弾性荷重は減少するとしている。一方、変位靱性法では固有周期がある範囲 ($0.7 < T < 3$) にあれば、弾塑性解析を用いなくても弾性解析で変位は求められるとしている。したがって、変位靱性法では塑性化した場合の作用荷重を取り扱わず弾性荷重(弾性解析)をそのまま用いるので、要求性能を求めるのが非常に簡略化される。また力よりも変位の方が、構造物の耐震設計の評価において構造物の挙動を直接扱うことになり実際的である。

CALTRANS の耐震設計手順をみると、要求性能に対して保有性能の満足性が照査され難いところがある。すなわち要求性能を満たすべく寸法を定めて保有性能を求める場合、結果的に式 (1) を満足すればよいものの過剰設計になる恐れがある。その辺は適切な経験上の判断、すなわち鉄筋比は軸方向に 4%程度、直角方向に 0.5~1.0%、 $L/D < 10$ 、軸力比は 10~15%以下等を用いて設計し、細かい計算上の満足性よりも構造上のバランスを重視しているようである。

5. キャパシティデザイン

CALTRANS が採用するキャパシティデザインでは、地震時に靱性部材はその靱性を発揮できるように設計するので、その保有性能は塑性モーメントで決まる。靱性部材に隣接する部材は、地震後の補修が不必要となるために基本的に弾性に留まるように設計されるが、その時の作用力は靱性部材から伝達される力、すなわち塑性モーメントをとればよいことになる。その時に、靱性部材の塑性モーメントをもし少なく見積もると、基本的に弾性に設計される部材は危険側になる恐れがある。そこで伝達力としては塑性モーメントを 1.2 倍 (20%増) することとしている。この 20%には、材料のばらつきの程度と塑性モーメントを完全弾塑性型に理想化することから来る誤差を考慮している。

参考文献 1) 森 敦：7.3 アメリカの耐震設計法（CALTRANS : ATC-32 暫定橋梁設計示方書 1996 年）、橋梁の耐震設計法に関する講習会—海外から見た日本の耐震設計法—、土木学会地震工学委員会地震時保有耐力法に基づく耐震設計法の開発に関する研究小委員会、1998 年 9 月 22 日。 2) 本田明成、当麻庄司、Lian Duan、倉 真也：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、第 2 回鋼構造物の非線形数値解析と耐震設計への応用に関する論文集、土木学会、1998 年 11 月。