

## 道路橋梁における中国と日本の耐震設計基準について

早稲田大学 正会員 ○安 同祥  
早稲田大学 フェロー 清宮 理

**1. まえがき** 最近大規模な地震は世界各地に発生している。大地震は橋梁を含むライフライン等の社会基盤施設に大きな被害をもたらしている。道路、鉄道などの交通網は地震救済および震災復旧に大きな役割を担っており、橋梁は道路・鉄道網の重要な構成部分でその耐震性能に対しての要求は一層に高まる。橋梁の耐震性能は耐震設計基準によって定まっているため耐震設計基準の完全性は構造の耐震性能に直接影響を与える。耐震工学は数多く大きな地震の経験と科学技術の進歩等によって大きく成し遂げたが、地震現象の不確定性・複雑性、伝播経路の不明確性などによって耐震設計の基本条件となる地震荷重はまだ確実に解明されていないのは現状である。そこで本文は中国(JTG/T B02-01-2008 公路橋梁抗震設計細則;重慶交通科研設計院)と日本(JRA-2002 道路橋示方書・動解説 V耐震編;日本道路協会)の道路橋梁の耐震設計基準を取上げ耐震設計の基本理念・設計用地震荷重・耐震性能の照査方法などに着目して両基準の相違点を明らかにし、構造物の耐震性能をより一層適切に図れることを目的としている。

**2. 耐震設計の基本理念** 設計基準の国際化を同調すると同時に新構造・新工法を安易に導入できるように耐震設計について両基準ともに性能規定型を採用している。構造物の耐震性能は地震後構造物復旧の難易性・構造物の重要性・地震の規模(発生確率)に着目して耐震性能を規定している。JTG/T B02-01-2008 では橋梁の規模と所在路線の規格に着目して橋梁を分類している。支間長が150m以上の橋梁を最も重要なA種橋に、高速道路・一級道路上にある支間長150m未満の橋梁および二級道路上にある150m未満の長大あるいは大橋をB種橋に、三級および四級道路にある中小橋をD種橋にその他はC種橋に分類している。一方、JRA-2002では橋梁の重要性を主に橋梁の所在路線の規格によってB種橋(重要な道路—高速道路、一般国道あるいは防災計画上の位置付け道路にある橋梁、跨線・跨道などの橋梁)とA種橋に分類されている。耐震性能についてJRA-2002では地震の規模と橋梁の重要度に応じて3段階に分けており、性能1は中小規模の地震に対するもので地震後橋としての健全性を損なわないように規定している。性能2と3は大規模な地震に対するもので重要な橋(B種橋)は性能2でそうでない橋(A種橋)は性能3である。また、性能2と3は構造物の損傷レベルと修復の難易度によって定めている。性能2は地震による橋梁の損傷は限定的で且つ地震後橋としての機能が速やかに回復できる機能であるが性能3は地震による損傷が橋として致命的とならない性能である。JTG/T B02-01-2008では、地震の規模と橋梁の重要度に応じて4段階に分けており、全橋梁は発生確率の大きい地震に対して耐震性能Iに要求されている。性能Iは橋梁が無被害か修復しなくても橋梁として継続供用できる性能である。性能IIは重要度Aの橋に要求される性能で橋梁は局部的軽微な損傷を許容するが修復必要ないか簡単な修復で橋梁の継続使用できる性能である。性能IIIは橋梁の崩壊或いは致命的損傷は許さなく臨時補強後緊急交通に供用できる性能で重要度BとCの橋梁に規定されている性能である。重要度が低いD種橋梁について大地震による設計は実施しなくても良いである。また、両基準共に地震の規模と構造物の耐震性能に応じて2段階に分けて設計を行うと規定している。

**3. 設計地震動** 設計地震動は建設地点の地震活動度(再現周期)、断層情報、地盤条件および既往の地震観測データなどを考慮して定めるもので、JTG/T B02-01-2008では地震の再現周期が475年の地震動を基本にして地震の規模(中小規模E1、大規模E2)が橋梁の重要度係数によって考慮している(表-1参照)。一方JRA-2002の設計地震動はL1地震動(耐用期間中に数回程度発生する中小規模地震)とL2地震動(海洋型のタイプI・内陸型のタイプII)としている。両基準とも地震動を加速度形式で耐震設計上の地盤面において与えている。構造物設計用加速度応答スペクトルSについてJTG/T B02-01-2008は式-1、JRA-2002は式-2によって表している。

$$S = 2.25 C_i C_s C_d \alpha_T A \quad (1) \quad S = C_z C_d S_i \quad (2)$$

ここに、 $C_i$ は重要度係数； $C_s$ は架橋地点の地盤種別係数； $C_d$ は減衰別補正係数； $\alpha_T$ は構造物の固有周期と架

キーワード 道路橋梁, 耐震設計, 耐震性能, 設計地震動

連絡先 〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1 早稲田大学理工総合研究所 TEL 03-5286-3852

橋地点の地域特性・震央距離・地盤種別などによる補正係数；A：設計水平加速度スペクトルの標準値（表層地盤加速度PGA）で6段階（0.05g～0.4g）に分けている； $C_z$ は地域別係数で3タイプに区分されている； $S_i$ は地盤種別・構造物の固有周期を考慮したL1地震動およびL2地震動（タイプⅠ、タイプⅡ）の設計水平加速度スペクトルの標準値。設計用水平加速度スペクトルについて両基準とも架橋地点の地域特性（地震活動度）・地盤条件・構造の固有振動特性を考慮しているが、JTG/T B02-01-2008では設計水平震度が構造物の重要度によって補正している。

**4. 耐震性能の照査方法** 耐震性能の照査は構造物の地震挙動の複雑さ、地震の規模および構造物の要求された性能等によって静的解析法と動的解析法を採用することが出来る。また、構造物の応答特性によって線形解析法と非線形解析法を選定することができる。両基準とも応答スペクトル法か時刻歴動的解析法かを使用すると規定している。

**5. RC橋脚の耐震性能** 両基準を比較するために例としてRC橋脚柱の耐震性能を照査した。Ⅱ種地盤に建設する5

径間連続（5@40.0m）鋼鈹桁橋のP1橋脚に着目した。上部構造総重量は31400kNである。耐震上橋梁の重要度はB種橋とする。支承はゴム沓で支承条件は弾性支持である。橋脚の形状寸法（P1～P4同）を図-1に示す。

基礎は9本のφ1200の場所打ち杭からなり、杭長は15.0mである。使用材料についてコンクリートは $\sigma_{ck}=24\text{MPa}$ 、鉄筋はSD345とする。JTG/T B02-01-2008では設計地震動を防災烈度8（一級道路上の大橋:PGA=0.30g）とし、応答スペクトル法（地震挙動が煩雑でない）によって計算を行った。

E1地震動での計算は線形弾性法、E2地震動では等価線形弾性法にて実施した。柱断面は2.5m×4.0mで、断面配筋（主鉄筋D25）はE1地震動によって決定された。一方JRA-2002では地域別をA地域とし、レベル1地震動は震度法、レベル2地震動は保有水平耐力法（設計水平震度下限値0.4の照査）と非線形動的解析法によって計算した。柱の断面は3.0m×4.0mで、断面配筋は動解の残留変位によって決定された。柱の配筋要領は図-2に設計計算結果は表-2に示す。本例において発生頻度の低い（大規模）地震動ではJRA-2002の耐震性能はJTG/T B02-01-2008の方より高く要求されている。同等の耐震性能を要求されている発生頻度の高い（中小規模）地震動においてJRA-2002の設計加速度はJTG/T B02-01-2008の方の1.56倍に大きくなっているが柱の断面についてJTG/T B02-01-2008では発生頻度の高い地震動によって決定している。コンクリートの単位体積当りの鉄筋量は帯鉄筋についてあまり差はないが主鉄筋について断面

が大きくなったにもかかわらずJRA-2002はJTG/T B02-01-2008の方の2倍以上になっている。

表-2 設計計算結果 JRAの残留変位と塑性ヒンジの回転角は動的解析による結果である。

| 設計基準  | レベル1(E1)地震時 |      |            |                 | レベル2(E2)地震時 |      |       |               |                |                 |             |           | コンクリート1m <sup>3</sup> 当り配筋量 |                   |                   |
|-------|-------------|------|------------|-----------------|-------------|------|-------|---------------|----------------|-----------------|-------------|-----------|-----------------------------|-------------------|-------------------|
|       | 固有周期        | 加速度  | $\sigma_s$ | 曲げ耐力            | ヒンジ長        | 固有周期 | 加速度   | 破壊形態          | 曲げ耐力           | 最大変位            | ヒンジ回転角      | 残留変位      | 主鉄筋                         | 帯鉄筋               | 計                 |
|       | s           | g    | MPa        | kNm             | m           | s    | g     | $P_u < P_s$   | $H < P_a$ , kN | m               | rad         | m         | kg/m <sup>3</sup>           | kg/m <sup>3</sup> | kg/m <sup>3</sup> |
| JTG/T | 1.30        | 0.16 | ---        | 19542<br><20390 | 1.39        | 1.80 | 0.382 | 2079<br><7237 | ---            | 0.183<br><0.355 | 0.004<0.017 | ---       | 39.4                        | 26.7              | 66.1              |
| JRA   | 1.22        | 0.25 | 204<300    | ---             | 1.50        | ---  | 0.40  | 4712<br><8483 | 3653<br><4712  | ---             | 0.008<0.015 | 0.14<0.15 | 80.5                        | 30.2              | 110.7             |

**6. 結論** 1) 両基準とも性能規定型を採用し地震規模、耐震性能に応じて2段階設計すると規定している。2) 橋梁の重要度についてJRAは耐震性能のみによって考慮しているがJTG/Tは設計加速度にも反映している。3) 同規格の橋梁の中小規模地震に対して両基準の所要耐震性能はほぼ同じだが大規模地震に対してJTG/Tに比べJRAは一段高い。4) 両基準の耐震性能の照査方法は同じであるがJTG/Tに比べJRAの設計加速度は大きく配筋量は多くなる。

表-1 重要度係数  $C_i$

| 橋梁の重要度  | 再現周期長い地震(E1) | 再現周期短い地震(E2) |
|---------|--------------|--------------|
| Class A | 1.00         | 1.70         |
| Class B | 0.43 (0.50)  | 1.30 (1.70)  |
| Class C | 0.34         | 1.00         |
| Class D | 0.23         | ---          |

( )は高速道路と一級道路上の長大・大橋設計用

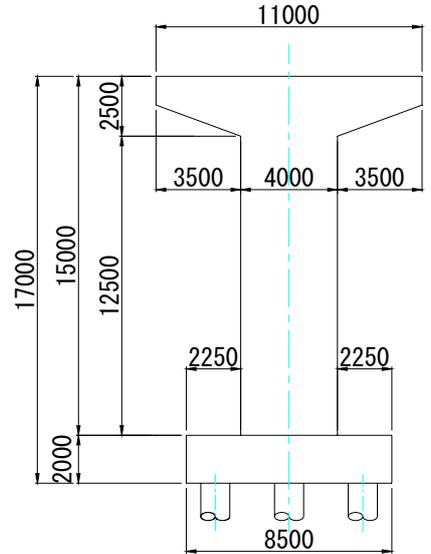


図-1 対象橋脚

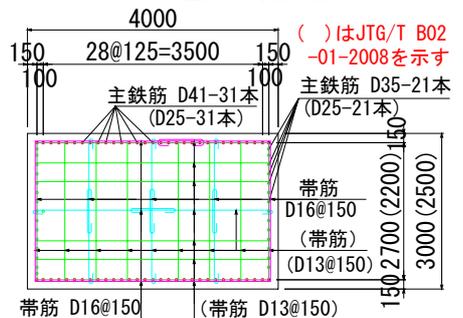


図-2 柱の配筋要領