

鉄道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 F 会員 清宮 理

中国雲南省交通規画設計研究院 汪 磊

1. まえがき 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。また、耐震設計基準の元であり耐震工学は地震被害の経験から生まれた学科で二十世紀の初期から形成された。耐震工学は百年の間に数多く大きな地震被害の苦痛を受けながら科学技術の進歩などによって大きく成り遂げたが、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。そこで本文は同じ地震大国の中国と日本の鉄道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 耐震設計について両基準（鉄路工程抗震設計規範：GB50111-2006；鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震編-1999）ともに性能規定型としている。両基準とも地震後構造物の復旧難易性に着目して耐震性能を三つに区分している。性能Ⅰ：地震後構造物無損傷が軽微な損傷に止まり、正常な使用機能を保つ、構造の状態に対して中国基準は弾性状態にあると要求するが日本の基準は過大な変位を生じないと規定されている。性能Ⅱ：地震後に補修を必要とするが、早期に機能が回復できる。性能Ⅲ：地震によって構造物全体が崩壊しない。中国基準は更に短期補強後列車が減速で通過ができると規定した。

3. 設計地震動 設計地震動は建設地点の地震活動度、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、中国の基準には地震の再現周期と地震の規模に応じて耐震設計地震動を3タイプに分類されている：・発生頻度の高い地震動（再現周期50年）・設計基準地震動（再現周期475年）・発生頻度の極めて低い地震動（再現周期2475年）。一方日本の設計用地震動は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・内陸型のタイプと断層モデルにより算定するタイプの大規模地震動）としている。両基準とも地震動を加速度形式で与えている。構造物設計用加速度の値Aは式-1によって表すことができる。

$$A = f(\alpha_B, \alpha_A, \alpha_G, \alpha_T) \quad (1)$$

ここに、 α_B は地震の規模と再現周期の影響を表す。 α_A は建設地点の地震活動度の影響を示す。中国では設計地震動の加速度基本値（表層地盤加速度PGA）を6段階に分けることによって評価しているが日本の場合は地域別係数（A：1.00、B：0.85、C：0.70）によって3段階で表されている。 α_G は建設地点の地盤条件による影響で、中国では地盤条件を4タイプ（岩盤或いは固い地盤： $V_s > 500\text{m/s}$ 、普通地盤： $250\text{m/s} < V_s < 500\text{m/s}$ 、やや軟らかい地盤： $150\text{m/s} < V_s < 250\text{m/s}$ 、軟弱地盤： $V_s < 150\text{m/s}$ ）にしているが日本ではG0～G7に8タイプに分類している。 α_T は構造物の固有周期による影響である。表層面設計地震動弾性応答加速度スペクトルの最大値（ $h = 0.05$ ）は表-1（中国）と表-2（日本）に示す。日本の基準には表層地盤の特性による地震動の増幅などをはっきり示している。中国で設計用地震動の地盤種別と構造物の固有周期による影響について加速度基本値（PGA）に加速度応答倍率を乗じることによって考慮している。また、構造物の重要度について中国では設計水平加速度に重要度係数を乗じることによって考慮しているが日本では構造物の要求する耐震性能によって評価している。

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。表-3に耐震性能の照査方法を示す。両基準とも応答スペクトル法か時刻歴動

キーワード 鉄道橋梁，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

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RC橋脚柱を例として耐震性能の照査を行った。対象橋脚は日本の基準で設計された時速 260km/h の新幹線高架橋の下部構造で複線用 RC 単純 T 桁 (L=10.0m : 起点側) と PPC 単純 T 桁 (L=30.0m : 終点側) を支持す

る直接基礎を有する壁式橋脚である。図-2 には図-3 に示す。日本基準によれば架橋地点は A 地域で地域別係数は 1.0 であ対象橋脚の概要を示す。柱の配筋概要を。耐震設計上の地盤種別は G1 である。設計用地震動の最大値は L1 : 0.25g、

表-1 中国基準(鉄路工程抗震設計規範:GB50111-2006)の加速度の最大値

防災烈度(震度)		6度	7度		8度		9度
PGA	基準動 Ag	0.05g	0.10g	0.15g	0.20g	0.30g	0.40g
	頻度高 A1	0.02g	0.04g	0.05g	0.07g	0.10g	0.14g
	頻度低 A2	0.11g	0.21g	0.32g	0.38g	0.57g	0.64g
構造物設計用	a1	0.06g	0.13g	0.16g	0.22g	0.32g	0.44g
	a2	0.25g	0.47g	0.72g	0.86g	1.28g	1.44g

注:a1=A1×重要度係数(1.4)×加速度応答倍率β(2.25);a2=A2×β;
gは重力加速度である。

表-2 日本基準(鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震編-1999)加速度の最大値

地盤種別	G0	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7
L1	0.20g	0.25g	0.30g	0.35g	0.37g	0.40g	0.34g	0.28g
L2-T1	0.88g	1.10g	1.40g	1.50g	1.60g	1.40g	1.20g	1.00g
L2-T2	1.36g	1.70g	2.00g	1.80g	1.60g	1.40g	1.20g	1.00g

注:gは重力加速度である。

表-4 柱線路方向の照査結果

地震動	日本基準		中国基準			
頻度高(L1)地震動	降伏震度 Khy	0.351	鉄筋応力度 (N/mm ²)	σs	243	(405)
	設計震度 Kh	0.255		σsa	335	
	Kh/Khy	1.376		σs/σsa	0.725	(1.209)
頻度低(L2)地震動	部材角 (rad)	計算値 θd	0.02737	モーメント (kN・m)	Mmax	58016 (65141)
		制限値 θnd	0.02966		My	32886
		θd/θnd	0.923		応答塑性率 μ<4.84	3.364 3.777

注:中国基準の設計震度は防災烈度8及び9のものとした。()は烈度9を示す。

表-3 耐震性能の照査方法

構造型式			頻度高い中小規模地震動 L1				頻度低い大規模地震動 L2			
			中国基準		日本基準		中国基準		日本基準	
			照査項目	照査方法	照査項目	照査方法	照査項目	照査方法	照査項目	照査方法
単純桁橋などの地震挙動が簡単な橋梁	コンクリート橋脚	躯体	部材耐力	応答スペクトル法	明確でない	明確でない	照査しない		明確でない	明確でない
		基礎	基礎安定		明確でない		照査しない		明確でない	
鉄筋コンクリート橋脚	躯体	部材耐力	応答スペクトル法	損傷レベル	動的解析法 ¹⁾	塑性率	応答スペクトル法または非線形動的解析法 ²⁾	損傷レベル	動的解析法 ¹⁾	
		基礎	基礎安定	安定レベル		明確でない		安定レベル		
地震挙動が複雑な重要橋梁	躯体	部材耐力	動的解析法 ²⁾	損傷レベル	動的解析法 ²⁾	塑性率or最大応答変位	非線形動的解析法 ²⁾	損傷レベル	非線形動的解析法 ²⁾	
		基礎	基礎安定	安定レベル		明確でない		安定レベル		

注:1)動的解析法の非線形応答スペクトル法; 2)時刻歴動的解析法; 上下部構造の連結部(支承など)について中国基準は設計基準地震動で設計する。

L2:1.70g (Type2) である。設計計算は上部構造・柱・底版・基礎を一体としてモデル化し、柱の下端に塑性ヒンジを設け、直接基礎の浮き上がりによる非線形も考慮して非線形プッシュオーバー法によって解析し非線形応答スペクトル法にて構造の耐震性能を照査した。線路方向柱部分の結果は表-4 に示す。設計地震動を防災烈度8 (Ag=0.30g) と9 について中国基準でこの橋脚の耐震性能を照査した。照査は応答スペクトル法によって行った。地盤は線形ばねとし柱は弾性梁 (頻度低地震動) または等価弾性梁 (頻度高地震動) によってモデル化して解析を実施した。頻度高地震動は許容応力度はで断面応力度を照査し頻度低の地震動については応答塑性率によって照査した。照査結果は表-4 参照。日本基準は頻度低地震動によって決定しているが中国の方は頻度高の地震動の結果が大きくなり、烈度9 には制限値を超えている。これは両基準の加速度の取り方と計算モデルの違いによるものと考えられる。

6. 結論 ・両基準とも性能規定型で、耐震性能の規定方法も同一である。・設計地震動加速度の取り方と構造解析用モデルの方法に違いがある。

参考文献 ・鉄路工程抗震設計規範:GB50111-2006, 中華人民共和國建設部・中華人民共和國鉄道部, 2006 ・鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震編, 国土交通省鉄道局・鉄道総合研究所, 1999

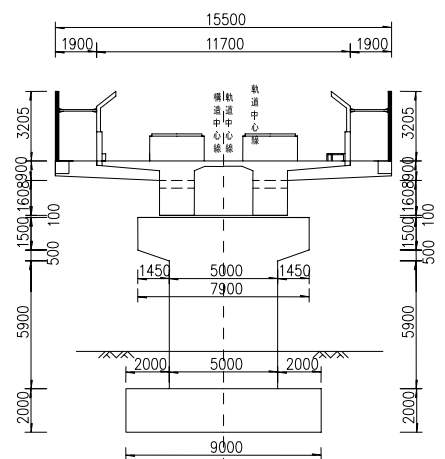


図-1 対象橋脚

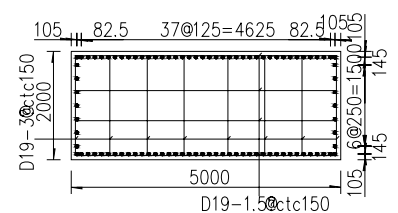


図-2 柱配筋要領図