2603 想定東海地震に対する東海道新幹線の

高架橋変位抑制対策について

フェロー [土] 〇松田 猛(東海旅客鉄道) 正 [土] 荒鹿 忠義(東海旅客鉄道)
正 [土] 吉田 幸司(東海旅客鉄道) 正 [土] 岩田 秀治(東海旅客鉄道)
正 [土] 斎藤 伸明(東海旅客鉄道)

Countermeasure for containing viaduct displacement of Tokaido Shinkansen for Tokai Earthquake

Takeshi MATSUDA, Central Japan Railway Company, 1545-33, Ohyama, Komaki City

Tadayoshi ARASHIKA, Central Japan Railway Company

Koji YOSHIDA, Central Japan Railway Company

Shuji IWATA, Central Japan Railway Company

Nobuaki SAITO, Central Japan Railway Company

After Hyogoken-nanbu earthquake 1995, the seismic criterion was reviewed. The seismic retrofitting was executed to the level 2 ground motion. The risk of the Tokai earthquake grew today, and the damage assumption and the seismic intensity were made public at the central disaster prevention conference of the Cabinet prefecture. The maximum acceleration of the ground motion of the Tokai earthquake was larger than that of the seismic criterion. Therefore, it was necessary that improvement of seismic performance to raise the rigidity of an existing railway viaduct with seismic retrofitting.

Keywords: railway viaducts, displacement control, Tokai earthquake, seismic retrofitting

1. はじめに

東海道新幹線の地震対策については、これまでに、高 架橋柱等の土木構造物の耐震補強や早期地震警報システ ムの導入等を進め、現在、これらは概ね完了する段階と なっている。

また,平成16年10月23日に発生した新潟県中越地震 により、上越新幹線が、ロッキング脱線により脱線する という事象が発生した。

この事故を受け「新幹線脱線対策協議会」に当社も参 画するとともに、実験、解析および試験敷設により、各 対策の機能確認等を実施した.これらの検討結果に基づ き、当社では、地震時の脱線・逸脱防止に有効であり、 保守上においても支障のない対策を確立した^{1),2)}.

本報告では,脱線・逸脱防止対策を検討する上で考慮 した想定東海地震動と,高架橋の高剛性化による応答水 平変位の増幅の抑制と,耐震性能の向上について述べる.

2. 想定東海地震

2.1 東海地震の検討経緯

1976年秋に東海地震説が発表され、既に四半世紀以上 が経過し、1978年の大規模地震対策特別措置法の制定を はじめ、多くの東海地震への備えが進められてきた.し かし、地震発生の事前予知の誤解、警戒宣言時や対策強 化地域の対策が注目され過ぎたこともあり、新たに見直 す必要があった.

内閣府中央防災会議では、20数年間にわたる東海地域 での観測データの蓄積や新しい科学的知見の進展に基づ き、より的確な東海地震対策を審議するため、2001年1 月に「東海地震に関する専門調査会」が設置され、強化 地域を従来の6県167市町村から8県263市町村とし、 主に西方地区が拡大された³⁾.更に、2002年3月に「東 海地震対策専門調査会」が設置され、詳細な被害想定の 公表、その結果を反映した予防対策や災害発生時の対策 を講じた^{4).5)}.

2.2 新しい想定東海地震動

東海地震の対策強化充実のため、莫大な観測データと 最新の知見により、発生メカニズムや地震の揺れおよび 津波の拡がりなどについて、「東海地震に関する専門調査 会」で検討され、最終報告が 2001 年 12 月に公表された.

新しい東海地震の震源域は、図1に示すように、微小 地震の観測等から陸側プレートに潜り込む海側プレート の立体的形状やプレート同士が固着する部分が判明、加 えて人工衛星測量(GPS)によりプレート運動が精密に 把握でき、そのため、四角形からナス型に変更された.

また、過去の地震を分析し、距離に応じて地震動を減 衰させる経験的手法の結果も踏まえ、図2に示すように 震源域内、特に大きな地震動を発生させる部分(固着域: アスペリティ)を設定した新しい知見の震源モデルによ り、地震発生および伝達を再現させる強震動波形計算手 法で想定東海地震動が作成された。

想定東海地震動は、ブレート破壊形式により、ブレートの固着している場所が同じ距離だけずれる場合(変位 量一定:Dモデル)とプレートが固着している力の大き

[No.09-65] 日本機械学会第16回鉄道技術連合シンポジウム講演論文集 [2009-12.2~4. 東京]



り98の主要活断層が指定されているが、脱線した新潟県

中越地震を含め、近年の鉄道被害を伴う地震は必ずしも

主要活断層で発生しておらず、対象範囲を限定せず、全



809.2

東西方向の加速度波形

(gal) 900.0

0.0

図8 弾性加速度応答スペクトル比較(G3地盤)

0.5 1 Period[sec]

0.10sec

0.33sec

1.00sec

5.00sec

إسبا

902ga

2781gal

2781gal

390gal

評価用スペクトルA. G3地盤

Response

100

50

10

線へL2地震を想定することが妥当と考える.

さらに、公表された想定東海地震についての分析を行 い、東海動新幹線で考慮する地震動とした、ここで、前 述の図4に示す波形を工学的基盤面(Vs=700m/sec.)か ら耐震設計上の基盤面(G1地盤:Vs=400m/sec.)まで地 盤応答解析した想定東海地震の波形を図6に示す.なお、 継続時間160秒中の0~70秒間の主要動部分を示したも のである.同じく耐震設計上の基盤面(G1地盤: Vs=400m/sec.)でのL2地震動スペクトルIIの波形を図7 に示す.また、図8に弾性加速度応答スペクトル(G3 地盤)の比較を示す.

想定東海地震(図6)とL2地震(図7)の波形比較で は、想定東海地震動の方が800Gal以上で最大加速度も大 きく、250Gal以上の繰返し主要動回数が約40回、100Gal 以上の継続時間も約30秒と長い.また、図8のスペクト ル比較では、想定東海地震は、長周期側が卓越し、全て の周期帯でL2地震動を上回る応答である.このように、 兵庫県南部地震以降考慮してきたL2地震に加え、想定 東海地震も別途考慮が必要と考えた.

なお、図6に示す耐震設計上の基盤面にあたるGI地 盤の地震動(最大加速度 801Gal)に対し、図9に示す G3地盤に補正し、最大加速度が957Galとなる地震波を 一連の脱線・逸脱防止対策¹⁾を検討する上で考慮した想 定東海地震動とした.

3. 想定東海地震に対する高架橋の耐震性能

3.1 高架橋の耐震性能評価

兵庫県南部地震以降考慮してきた L2 地震に加え,想 定東海地震に対しての高架橋の耐震性能を把握するため, 標準設計高架橋を対象に,耐震標準⁶⁰に準拠した解析評 価を実施した.

対象とした高架橋は、図 10 に示す標準的な東海道新幹線のラーメン高架橋(1 層 2 柱式 3 径間ラーメン高架橋: 橋長 24m,スパン 3m+6m@3+3m,高さ 7.0m,柱寸法 0.6m×0.6m)である.解析評価にあたっては、現状の既 存高架橋の耐震性能に加え,既存高架橋をより強化した 状態を想定して図 11 に示す X 型プレース工法による高 架橋変位対策⁷⁾を実施した場合について行った.なお, 高架橋柱については、兵庫県南部地震以降の高架橋柱の 耐震補強の実態を考慮して,柱部材には鋼板巻き補強(鋼 板厚 t=6mm,隙間 30mm 無収縮モルタル充填)を想定し た.また、耐震補強した部材の非線形特性については、 鋼板巻立て補強の設計・施工指針⁸⁰を参考とした.

解析モデルの概要図を図 12 に示す. 高架橋の線路直角 方向について検討することとし、耐震標準に準じてモデ ル化した. X型ブレース工は、ダンパー部を標準パイリ ニア型の履歴特性を有するばねでモデル化し、高架橋と の取付け部は、接続ばね要素を設け、水平・鉛直はばね 結合、回転はフリーにモデル化した.

また、解析評価は、非線形スペクトル法と動的解析法 によった、非線形スペクトル法では、耐震標準に基づき 作成した想定東海地震波の非線形応答スペクトルを用い、 動的解析法では、図9に示す波形を入力して評価した.

想定東海地震波に対する高架橋の解析評価の結果一覧 を表1に示す、X型ブレース工なしの場合では、降伏震 度 0.290、降伏変位 39.0mm、応答塑性率が非線形スペク トル法で 8.67、動的解析法で 6.63 となった、一般に、鋼 板巻き補強をすることで、変形性能が向上することが実 験的に確認されており、じん性率 10 程度が確保される、 今回の解析評価では、実態を踏まえた鋼板巻き補強がな



図10 東海道新幹線の標準設計高架橋の例



図 11 高架橋変位対策





表1 解析結果一覧(想定東海地震波)

Case.	補強仕様	解析方法	降伏震度 Khy	降伏変位 δy[mm]	等価固有 周期 Teq[sec.]	応答塑性率 μ
	ブレースなし	非線形SP	0.200	20.0	0.724	8.67
N-1	(柱鋼板巻き)	動的解析	0.290	39.0	0.734	6.63
	ブレースあり	非線形SP	1.070	25.0	0.222	1.57
DB-1	(柱鋼板巻き)	動的解析	1.262	35.0	0.335	0.86

された状態において,解析手法によらず応答塑性率は10 以下であり,構造安全性(高架橋の崩壊防止)が確保さ れ,十分な耐震性能を有している.

一方,X型ブレース工ありの場合では、降伏震度1.262、

降伏変位 35.0mm, 応答塑性率が非線形スペクトル法で 1.57,動的解析法で 0.86 となった.高架橋変位対策によ り,応答が抑えられ,高い変位抑制効果が確認できる. また,等価固有周期について,X型ブレース工により, 0.734sec.が 0.333sec.へと周期が短くなっており、対策工 による高架橋の高剛性化が確認できる.現状に比して、 構造安全性の確保はもとより,概ね弾性域の応答となり、 損傷レベルが制限され耐震性能は更に向上する.

このように、高剛性化を図り、概ね弾性域の応答へ横 方向の振動変位を抑制する対策は、列車走行性を向上さ せ、変位制限標準⁹⁾を満足する対策となると考える。

3.2 高架橋変位対策の脱線・逸脱防止への効果

3.2 節の検討を深度化し、X 型ブレースによる高架橋変 位対策の脱線・逸脱防止への効果の検討として、野上、 室野らによる構造物の最大応答加速度 PSA と構造物の振 動卓越周期 T'、の関係に基づく脱線危険度判定ノモグラ ムによる簡易推定方法¹⁰による評価を試みた.

構造物の最大応答加速度 PSA と構造物の振動卓越周期 T's は、具体的には(1)式および(2)式で表されるように算 出される、求めた値をプロットし、設定した脱線限界速 度を越えているか否かで想定地震に対する構造物上を走 行する車両の走行性安全性を評価する方法である。

 ・①構造物の振動卓越周期]T'sの算定)	
 ・塑性率μがμ<1な 	らば,		
$T'_{s} = T_{s}$	(弾性範囲)	5	(1)
・塑性率μがμ≧1な	らば,		
$T_s = \sqrt{\mu} \times T_s$	(塑性範囲)	J	
②最大応答加速度 PSA Ø)算定)	
 ・塑性率μがμ<1な 	らば,		
$PSA = \mu \times k_{hy} \times g$	(弾性範囲)	7	(2)
・塑性率μがμ≧1な	らば,		
$PSA = k_{hy} \times g$	(塑性範囲)	J	

ここで、 T_s :振動卓越周期[sec.], μ :応答塑性率、 T_s : 降伏周期 [sec.], *PSA*:構造物天端の絶対化速度の最大値 (Peak Structure Acceleration) [Gal], k_{hy} :降伏震度,g: 重力加速度[Gal]である.

3.1 節で評価した想定東海地震に対する標準設計高架 橋の性能評価結果を用いて、(1)式、(2)式により、構造物 の最大応答加速度 PSA と構造物の振動卓越周期 T'sを算 定し、その結果をプロットしたものを図 13 に示す.また、 今回の検討では文献 10)にならい走行性判定の限界速度 を 110Kine とし、あわせて図示した、限界速度ラインの 右上に人ると、脱線と判定されることとなる。

現状のX型ブレース工のない状態では、限界速度ラインのやや右上にプロットされ、簡易推定方法¹⁰による評価では、脱線の判定となる。

一方、X型ブレース工による高架橋変位対策を実施し 場合には、限界速度ラインの左下となり、非脱線の判定 となる、高架橋の剛性を高め、応答変位を抑制すること が脱線・逸脱防止のためには効果的であると考える、ま た、これを実現する対策方法として、X型プレース工等 による高架橋変位対策が有効であると考える。

4. 結論

想定東海地震に対する分析ならびに想定東海地震動に 対する高架橋の耐震性能評価を解析等により実施した結





- (1) 想定東海地震動の特徴として,最大加速度が大きく, 250Gal以上の繰返し主要動回数,100Gal以上の継続時間も約30秒と長い.そのため,兵庫県南部地震以降考慮してきたL2地震に加え,想定東海地震も別途考慮が必要である.
- (2) 耐震性能評価の結果、想定東海地震に対しても、柱部材の鋼板巻き補強により、せん断耐力、変形性能を向上した高架橋は、構造安全性(高架橋の崩壊防止)が確保され、十分な耐震性能を有している。
- (3) X 型ブレース工により、高い変位抑制効果、高剛性 化が図れ、構造安全性の確保はもとより、概ね弾性 域の応答となり、損傷レベルが制限され耐震性能は 更に向上する。
- (4) 簡易推定方法による評価の結果、高架橋の剛性を高め、応答変位を抑制することが脱線・逸脱防止のためには効果的である。また、対策方法としては、X型ブレース工等による高架橋変位対策が有効である。

参考文献

- 1) 森村勉, 関雅樹:新潟県中越地震後の東海道新幹線 の地震対策について, J-Rail2009(投稿中), 2009.12.
- 荒鹿忠義,吉田幸司,庄司朋宏,村松浩成:軌道強 化と土木構造物変位抑制による東海道新幹線の脱 線・逸脱防止対策,J-Rail2009(投稿中),2009.12.
- 内閣府中央防災会議「東海地震に関する専門調査会」 報告,2001.12.11.
- 内閣府中央防災会議「東海地震対策専門調査会」報告,2003.5.28.
- 5) 内閣府中央防災会議「東海地震対策大綱」, 2003.5.29.
- 6) 鉄道総合技術研究所:鉄道構造物等設計標準・同解 説(耐震設計), 1999.10.
- 7) 吉田幸司, 関雅樹, 曽我部正道:ブレース補強による鉄道高架橋の列車走行性に関する研究, コンクリ ート工学年次論文集, Vol.29, No.3, pp.907-912, 2007.
- 8) 鉄道総合技術研究所:既存鉄道コンクリート高架橋 柱の耐震補強設計・施工指針(鋼板巻立て補強編), 1999.7.
- 鉄道総合技術研究所:鉄道構造物等設計標準・同解 説(変位制限),2006.2.
- 10) 野上雄太,室野剛隆,宮本岳史,佐藤勉:地震時の 広域な構造物被害および走行安全に関する簡易推定 法,鉄道総研報告, Vol.22, No.10, pp.29-34, 2008.10.