

## 地震動の入力方向が構造物の応答に及ぼす影響

北武コンサルタント株式会社  
北武コンサルタント株式会社  
財団法人鉄道総合技術研究所  
財団法人鉄道総合技術研究所

正会員 ○藤田 郁美  
正会員 渡邊 忠朋  
正会員 谷村 幸裕  
正会員 佐藤 勉

## 1. 目的

構造物全体系の性能を合理的に照査するためには構造物全体系での地震時の応答を正しく評価できる構造解析モデルを用いて、構造物を構成する各部材の性能を照査する必要がある。現在の設計法では照査方法を簡略化する事を目的として、独立した水平2方向にモデル化し、地震の影響に対する性能を照査することとしている場合が多い<sup>1)</sup>。しかし、地震動による慣性力の影響は必ずしも構造物の構造軸の水平2方向に作用するとは限らないのは言うまでもない。そこで本検討では、ラーメン橋台において3次元の時刻歴応答解析を実施し、線路方向および線路直角方向以外の角度から地震動を入力した場合の各入力方向の応答値を比較することを目的とした。

## 2. 検討概要

検討モデルは2柱式複線鉄道RCラーメン橋台を対象とした。検討対象構造図を図1に示す。3次元解析における骨組は立体にモデル化し、スラブに当たる部分は筋かいを入れた。解析骨組図を図2に示す。

検討パラメータは列車荷重の載荷状態および地震動の入力方向とした。列車荷重の載荷状態は列車荷重単線載荷と死荷重載荷を考慮した。列車荷重はL1側に載荷させた<sup>2)</sup>。3次元解析の地震動の入力方向は線路方向、線路直角方向の他に線路方向から時計回りに22.5°回転させた方向、同様に45°、67.5°回転させた方向の計5方向に入力した。3次元解析の地震動の入力方向を図3に示す。以上を考慮した本検討の検討ケースを表1に示す。

本検討に用いた地震波形は実際の鉄道構造物設計で用いられているものを使用した。地震波形を図4に示す。22.5°、45°および67.5°に入力する地震動は、線路方向および線路直角方向に図4の波形を分割して入力し、各入力方向に地震動が作用する状態とした<sup>3)</sup>。

## 3. 部材の非線形性

柱部材は材端ばねモデルを用い、 $M-\theta$ 関係を考慮したビーム要素としてモデル化した。ビーム要素の3次元解析における各入力方向の非線形性を再現する方法として、Multiple Shear Springモデル(MSSモデル)を適用した<sup>4)</sup>。ラーメン橋台の前方(要素番号1および3、柱幅900mm)および後方(要素番号2および4、柱幅1200mm)の柱部材の非線形性を部材端部の曲げモーメントと部材角の関係でモデル化したものを図5および図6<sup>5)</sup>に示す。図5および図6の $M-\theta$ 関係は、全ての方向に対して同値とした。なお、柱部材のみ非線形性を考慮し、筋かい部分は剛部材、その他の部材は弾性とした。柱の軸力変動を考慮するため、軸力と曲げ性能の相関関係を考慮した。

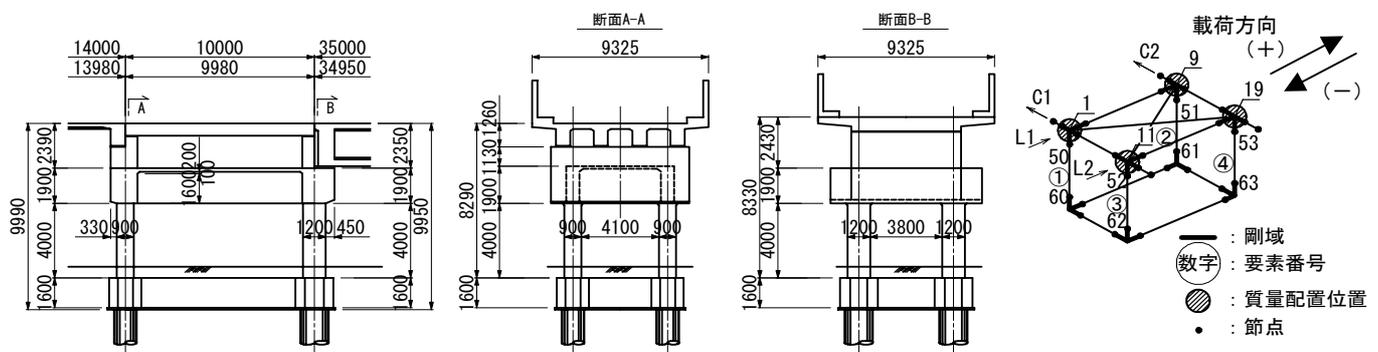


図1 2柱式複線鉄道RCラーメン橋台

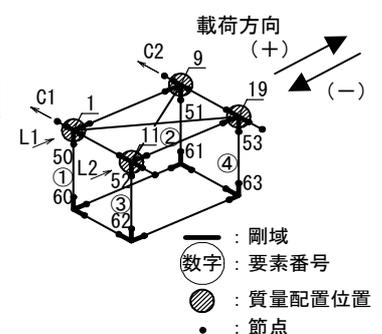


図2 3次元解析骨組図

キーワード 3次元解析 節点変位 載荷方向 入力方向 時刻歴応答解析

連絡先 〒062-0020 札幌市豊平区月寒中央通7丁目4-7 TEL 011(851)3012 FAX 011(851)3433

表 1 検討ケース

CASE	モデル	載荷荷重状態	入力方向	載荷方向
1	3次元解析	列車荷重 単線載荷	線路方向 L (3D-L)	(+)
2			22.5° 方向 (3D-22.5)	(+)
3			45° 方向 (3D-45)	(+)
4			67.5° 方向 (3D-67.5)	(+)
5			線路直角方向 C (3D-C)	(+)
6			線路方向 L (3D-L)	(-)
7			22.5° 方向 (3D-22.5)	(-)
8			45° 方向 (3D-45)	(-)
9			67.5° 方向 (3D-67.5)	(-)
10			線路直角方向 C (3D-C)	(-)

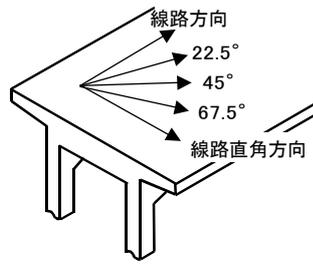


図 3 3次元解析における地震動の入力方向

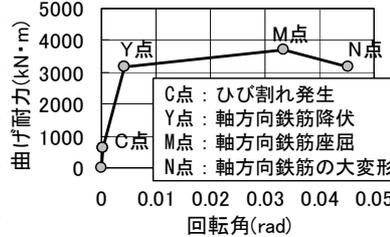


図 5 柱部材の M-θ 関係 (柱 900×900mm 要素番号 1, 3)

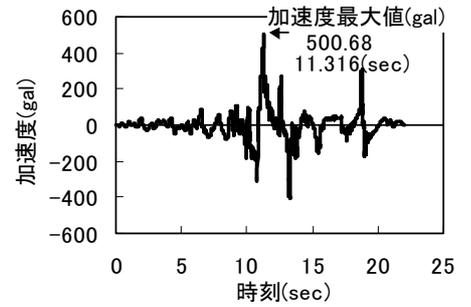


図 4 入力地震波形

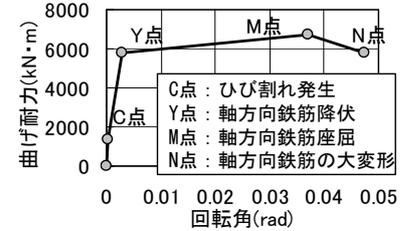


図 6 柱部材の M-θ 関係 (柱 1200×1200mm 要素番号 2, 4)

4. 結果および考察

載荷方向が(+)の場合の節点変位時刻歴の最大値  $3D \delta_{+max}$  および載荷方向が(-)の場合の節点変位時刻歴の最大値  $3D \delta_{-max}$  の比と入力方向の関係を図 7 および図 8 に示す。図 7 は柱幅が 900mm で節点 50 および 52, 図 8 は柱幅が 1200mm で節点 51 および 53 を示す。載荷方向が(+)は入力地震動をプラスに入力する場合を意味し, 載荷方向が(-)は入力地震動をマイナスに入力する場合を意味する。図 7 および図 8 より, 全ての入力方向および全ての節点において  $3D \delta_{-max}$  が  $3D \delta_{+max}$  を上回る結果を示した。入力方向の影響は図 7 より, 線路方向から入力角度が線路直角方向へ変化するに従い,  $3D \delta_{-max}/3D \delta_{+max}$  が増加した。節点 50 および 52 とともに同様の傾向を示した。一方図 8 では, 45° 方向において  $3D \delta_{-max}/3D \delta_{+max}$  が最も大きく, 線路方向および線路直角方向へ角度が変化するに従い,  $3D \delta_{-max}/3D \delta_{+max}$  は減る傾向を示した。節点 51 および 53 とともに同様の傾向を示した。

5. まとめ

本検討では, 2 柱式複線鉄道 RC ラーメン橋台に対して柱部材の節点変位の時刻歴を, 3 次元解析の載荷方向および各入力方向で比較した。その結果, 以下の結論が得られた。

- (1) 柱の断面がラーメン橋台の前方(要素番号 1, 3)と後方(要素番号 2, 4)で違う場合, (+)に入力する場合と, (-)に入力する場合では, 節点変位の時刻歴の最大値は異なる結果を示した。
- (2) 入力方向の違いで, 変位の最大値は異なり, 柱幅が小さい方と大きい方で各入力方向における変位の最大値の傾向が異なった。

参考文献

- 1) 土木学会：コンクリート標準示方書・耐震設計編[平成 8 年制定], 1996. 7.
- 2) (財) 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), 丸善, 1999.
- 3) 松井勲, 池内智行, 盛川仁, 上田茂：コヒーレンスを用いた最悪地震入力方向の簡易推定法, 土木学会第 55 回年次学術講演会, 2000.9
- 4) 日本建築学会：免震構造設計指針, 2001.9.
- 5) 渡邊忠朋, 谷村幸裕, 瀧口将志, 佐藤勉：鉄筋コンクリート部材の損傷状況を考慮した変形性能算定手法, 土木学会論文集, No.683/V-52, pp.31~45, 2001.8.

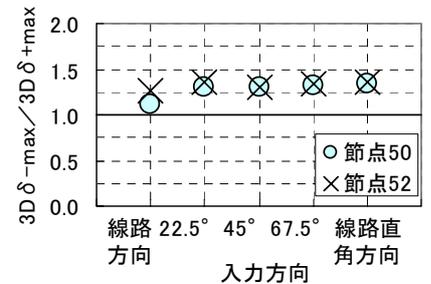


図 7  $3D \delta_{-max}/3D \delta_{+max}$  と入力方向の関係 (柱幅 900mm)

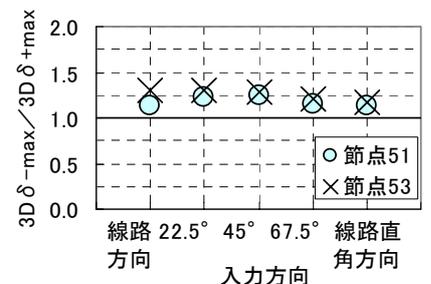


図 8  $3D \delta_{-max}/3D \delta_{+max}$  と入力方向の関係 (柱幅 1200mm)