

3次元動的解析によるラーメン橋台の地震時挙動の検討

A study on seismic behavior of rigid frame abutment by three-dimensional dynamic analysis

北武コンサルタント株式会社	正会員	○ 齊藤 聡彦 (Akihiko Saitou)
北武コンサルタント株式会社	正会員	渡邊 忠朋 (Tadatomo Watanabe)
財団法人鉄道総合技術研究所	正会員	谷村 幸裕 (Yukihiko Tanimura)
財団法人鉄道総合技術研究所	正会員	田所 敏弥 (Toshiya Tadokoro)

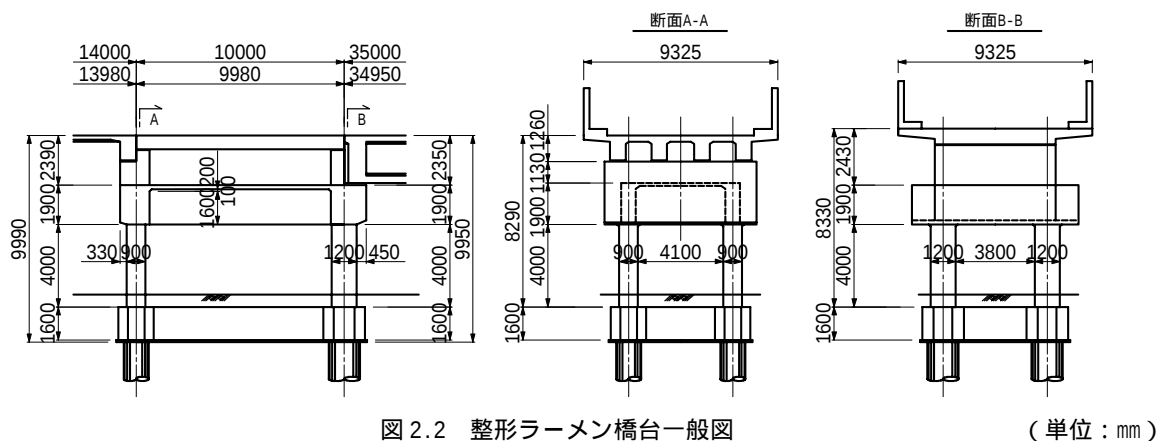
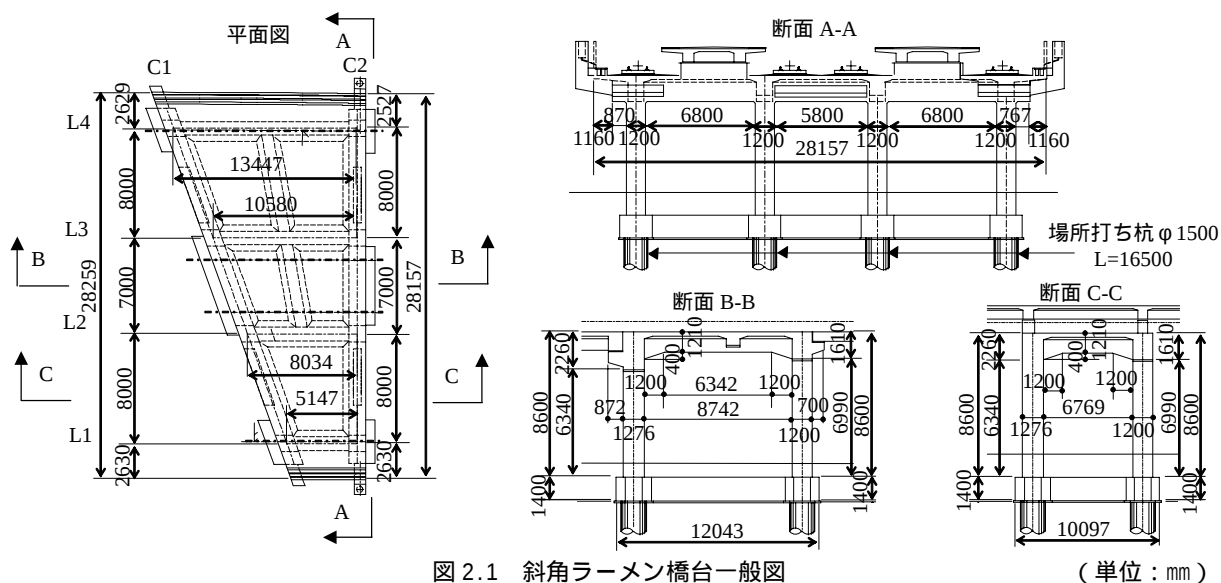
1. 目的

鉄道高架橋は、主に立体ラーメン構造が用いられているが、現状の鉄道高架橋の耐震設計では、2次元モデルを用いた解析が一般的に行われている。しかし、道路交差部などにおいて用いられている斜角等の不整形な形状や、質量配置が不均等なラーメン構造物においては、地震時における3次元動的挙動が無視できない場合も多いと考えられる。そこで、本検討では、3次元動的挙動により生じるねじりのモデル化および質量配置をパラメータとした時刻歴動的解析を行い、構造形状やモデル化の方法が構造物の挙動におよぼす影響を把握することを目的とした。

2. 検討概要

2.1 検討対象構造物

本検討で検討対象とした構造物は、実在構造物をイメージし、駅部にある70度の斜角RCラーメン橋台および一般的な2柱式整形RCラーメン橋台とした。図2.1に斜角ラーメン橋台の一般図を、図2.2に整形ラーメン橋台の一般図を示す。斜角ラーメン橋台は、起点方にスパン13mの単純桁、終点方にスパン7mの単純桁を支持し、さらに駅部であるためホーム2面を支持している。整形ラーメン橋台は、起点方にスパン13mの単純桁、終点方にスパン35mの単純桁を支持している。材料はともに、コンクリートが設計基準強度 $f_{ck}=27\text{N/mm}^2$ 、鉄筋が降伏強度 $f_{sy}=345\text{N/mm}^2$ を用いた。



2.2 解析モデル

解析は、3次元骨組みモデルを用いて行った。柱梁接合部は剛域とし、上層梁の軸線位置は両モデルとも全上層梁の図心軸の平均位置とした。また、3次元モデルの上層梁に囲まれている部分にはスラブがあるため、十分な剛性を有していると仮定し、剛な筋交いでモデル化した。ただし、本検討では、柱のねじりの影響を把握することを目的としているため、モデル化は柱下端を固定とした。図2.3に斜角ラーメン橋台の3次元モデルを示し、図2.4に整形ラーメン橋台の3次元モデルを示す。

2.3 部材のモデル化

本検討では、モデルの違いによる影響を把握するために、柱部材のみ鉄筋の降伏や部材の損傷による非線形を考慮し、他の部材は線形とした。柱部材の曲げ変形性能のモデル化は曲げモーメント - 部材角関係（以下、 $M-\theta$ モデル）により表現した。 $M-\theta$ モデルの骨格曲線は、鉄道構造物等設計標準同解説（耐震設計）（以下、耐震標準）¹⁾に示されるテトラリニア型の骨格曲線²⁾を基本に、曲げひび割れ発生時（C点）から引張鉄筋の降伏時（Y点）までの傾きを最大曲げモーメント（ M_m ）まで延ばし、負勾配を無視したトリリニア型の骨格曲線とした。図2.5に柱部材の $M-\theta$ モデルを示す。なお、復元力特性は武田モデルを用いた。柱部材のねじり特性のモデル化は、弾性剛性を用いた線形モデル、ねじりモーメント - 回転角関係により非線形モデル、弾性剛性の $1/1000$ （以下、

低剛性）を用いた線形モデルの3ケースにより表現した。ねじりモーメント - 回転角の関係を図2.6に示す。

3. 解析方法

3.1 解析方法

解析は、直接積分法を用いた時刻歴動的解析とした。直接積分法は、Newmark β 法（ $\beta=0.25$ ）とし、積分時間間隔は0.001秒とした。また、減衰はひずみエネルギー比例型とし、減衰定数は0.05とした。

3.2 解析ケース

表3.1に本検討で実施した解析ケースを示す。斜角ラーメン橋台の解析は、線路方向、線路直角方向の2ケースを実施し、整形ラーメン橋台の解析は、線路直角方向の解析を実施した。

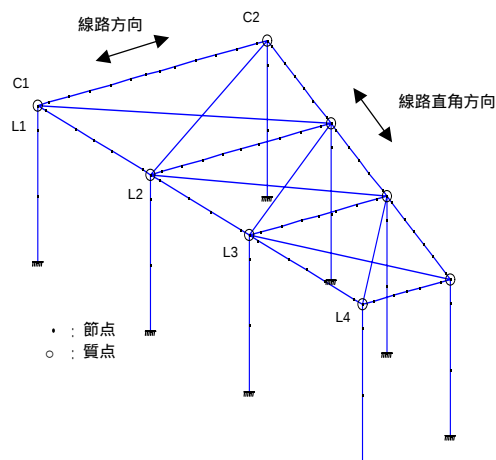


図2.3 斜角ラーメン橋台

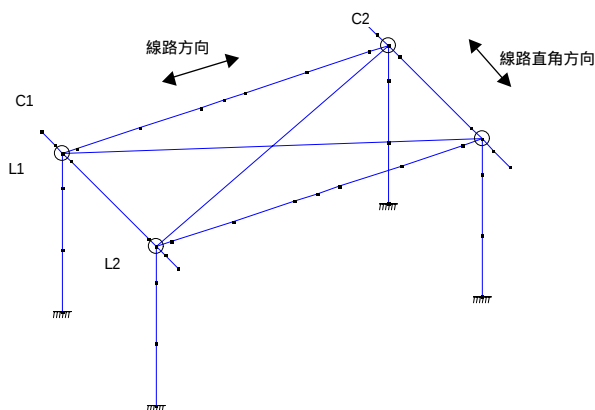


図2.4 整形ラーメン橋台

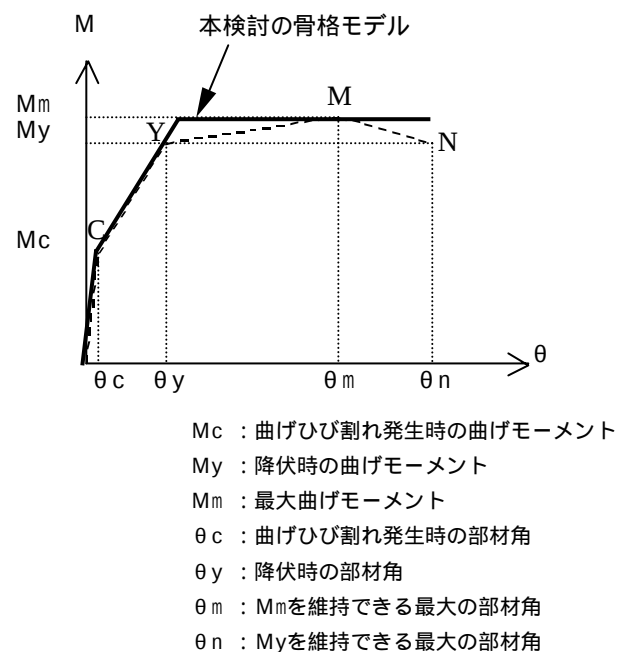


図2.5 柱の曲げモーメントと部材角の関係

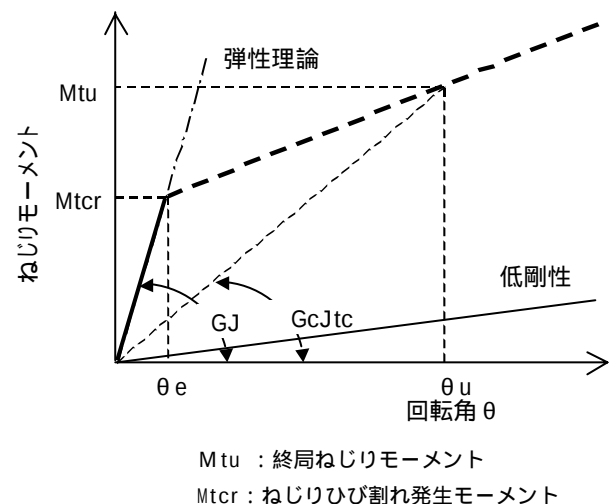


図2.6 柱のねじりモーメントと部材角の関係

3.3 入力地震波形

時刻歴動的解析には、図 3.1 に示す地表面設計地震動を、線路方向、線路直角方向に入力した。解析は、地震波の 0 秒から 40 秒の 40 秒間で実施した。

4. 解析結果

4.1 斜角ラーメン橋台

斜角ラーメン橋台における柱上端の節点について、線路方向解析時の平面変位の軌跡を図 4.1 に、線路直角方向解析時の平面変位の軌跡を図 4.2 に、各ケースの最大応答変位を表 4.1 に示す。また、線路方向の柱下端の $M-\theta$ の関係を図 4.3 に、 $M_t-\theta_t$ の関係を図 4.5 に、線路直角方向の柱下端の $M-\theta$ の関係を図 4.4 に、 $M_t-\theta_t$ の関係を図 4.6 に示す。本検討モデルにおいては、地震波の入力方向に直行する方向に構造物が変形しており、柱にねじりモーメントが発生している。しかし、柱のねじり応答が弾性範囲内の挙動であったため、ねじりのモデル化に対する解析結果に大きな差が生じていない。

表 3.1 解析ケース

解析モデル	ねじりのモデル化	質量比 (起点桁：終点桁)
斜角ラーメン橋台	線形 (弾性剛性)	1 : 1.25
	非線形	1 : 1.25
整形ラーメン橋台	線形 (弾性剛性)	1 : 1.75
	線形 (低剛性)	1 : 1.75
	線形 (低剛性)	1 : 3.50

表 4.1 斜角ラーメン橋台の最大応答変位 (L1C1 柱)

ねじりのモデル	入力地震波の方向	L 方向最大 応答変位 (mm)	C 方向最大 応答変位 (mm)
線形	L 方向	206	11
	C 方向	10	178
非線形	L 方向	206	11
	C 方向	10	178

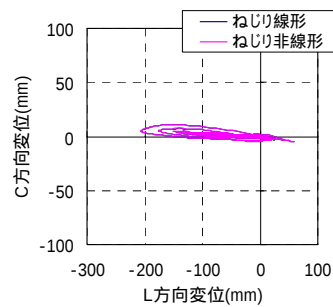


図 4.1 L1C1 柱平面変位の軌跡 (L 方向)

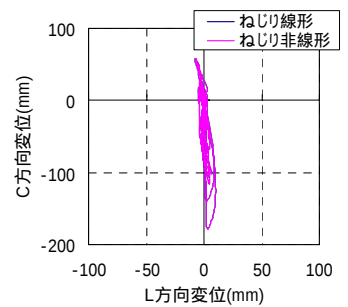


図 4.2 L1C1 柱平面変位の軌跡 (C 方向)

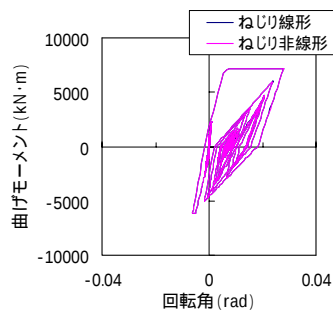


図 4.3 L1C1 柱下端の $M-\theta$ の関係 (L 方向)

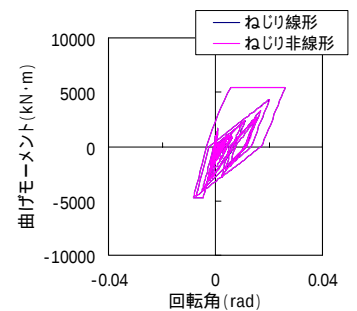


図 4.4 L1C1 柱下端の $M-\theta$ の関係 (C 方向)

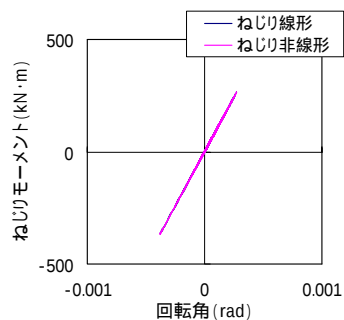


図 4.5 L1C1 柱下端の $M_t-\theta_t$ の関係 (L 方向)

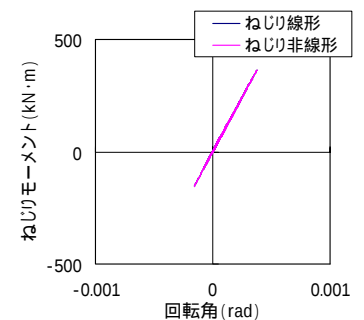


図 4.6 L1C1 柱下端の $M_t-\theta_t$ の関係 (C 方向)

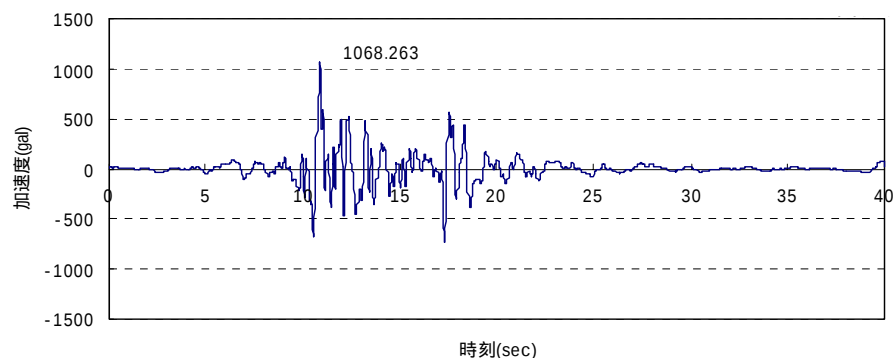


図 3.1 入力地震動加速度波形

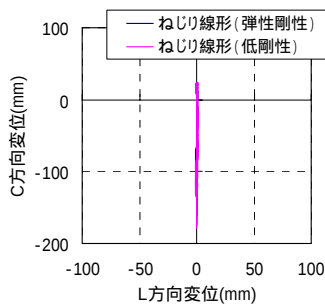


図 4.7 L1C1 柱平面変位の軌跡 (質量比 1:1.75)

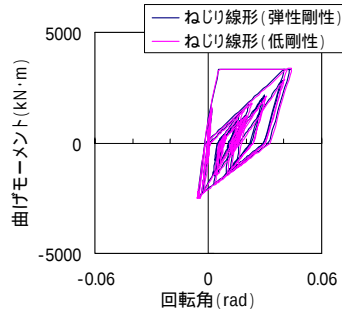


図 4.8 L1C1 柱下端の $M-\theta$ の関係 (質量比 1:1.75)

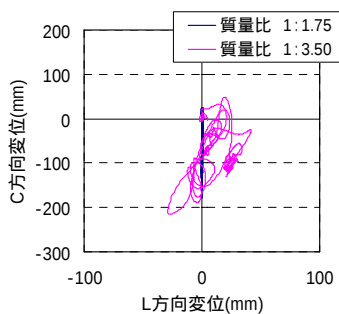


図 4.9 L1C1 柱平面変位の軌跡 (ねじり低剛性)

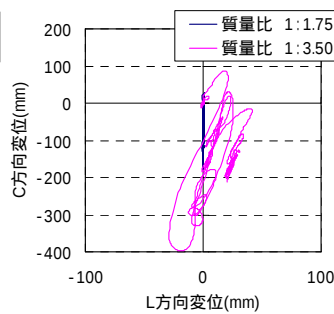


図 4.10 L1C2 平面変位の軌跡 (ねじり低剛性)

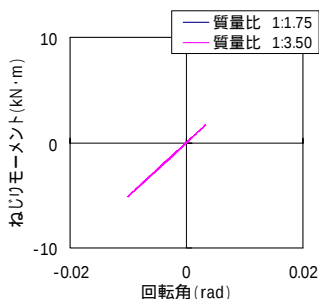


図 4.11 L1C1 柱下端の $M_t-\theta_t$ の関係 (ねじり低剛性)

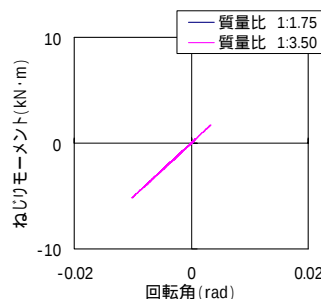


図 4.12 L1C2 柱下端の $M_t-\theta_t$ の関係 (ねじり低剛性)

表 4.2 整形ラーメン橋台の最大応答変位 (L1C1 柱)

ねじりのモデル	質量比	L 方向最大 応答変位 (mm)	C 方向最大 応答変位 (mm)
線形 (弾性剛性)	1:1.75	1 (1)	174 (175)
線形 (低剛性)	1:1.75	1 (1)	178 (178)
	1:3.50	41 (42)	215 (397)

() 内は L1C2 の変位を示す。

4.2 整形ラーメン橋台

整形ラーメン橋台における、ねじりのモデル化の違いによる影響を比較した、柱上端節点の平面変位の軌跡を図 4.7、柱下端の $M-\theta$ の関係を図 4.8 に示す。この結果より、ねじりのモデル化による構造物の 3 次元的な挙動の差は生じていない。

整形ラーメン橋台における、質量比の違いによる影響を比較した、柱上端節点の平面変位の軌跡を図 4.9、図 4.10 に、柱下端の $M_t-\theta_t$ の関係を図 4.11、図 4.12 に示す。また、各ケースの最大応答変位を表 4.2 に示す。この結果より、質量配置が 1:1.75 では、入力波と直交する方向の変位が 1mm であったが、質量配置が 1:3.50 での入力波と直交する方向の変位は 40mm 程度発生している。

5. まとめ

本検討では、斜角等の不整形な形状や質量配置が不均等な構造物が地震時の挙動に対する影響を把握するため、斜角ラーメン橋台、整形ラーメン橋台を対象に、3 次元モデルを用いて時刻歴動的解析を行い、柱のねじりモーメントおよび平面変位の軌跡について検討を行った。その結果、本解析条件においては、以下のことが確認できた。

- ・ 本検討モデルでは、ねじりのモデル化による違いが、解析結果に大きな影響を与えなかった。
- ・ 不整形なラーメン橋台および質量配置が不均等な整形ラーメン橋台の挙動は、入力波と直交する方向の変位が発生し、構造物が回転しており、柱にねじりモーメントが発生していることを確認した。
- ・ 不整形の程度および質量配置の不均等さの程度によっては、構造物の回転により発生する変位量の影響が大きいため、3 次元モデルを用いてねじりに対する検討が必要であると考えられる。

参考文献

- 1) (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.
- 2) (財) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説 - コンクリート構造物，丸善，2004.
- 3) 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.
- 4) 土木学会：コンクリートライブラリー第 52 号 コンクリート構造物の限界状態設計法指針（案），1983.