

慣性力の作用方向が構造物の部材性能に与える影響

The effect on the efficiency of the member of structure caused by the the direction of the inertial force

北武コンサルタント(株)	○正会員	藤田 郁美 (Ikumi Fujita)
北武コンサルタント(株)	正会員	桐本 裕二 (Yuji Kirimoto)
北武コンサルタント(株)	正会員	渡辺 忠朋 (Tadatomo Watanabe)
(財)鉄道総合技術研究所	正会員	谷村 幸裕 (Yukihiko Tanimura)

1. はじめに

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。

一般に構造物は 3 次元の立体構造であるが、照査方法を簡略化する事を目的として一般には、独立した水平 2 方向にモデル化して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。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、本研究では、鉄道 RC ラーメン高架橋を対象として慣性力の作用方向が、構造物の部材性能へ与える影響に関する基礎資料を得ることを目的として検討を行うこととした。以下にその概要を示す。

2. 検討概要

2.1 検討方法

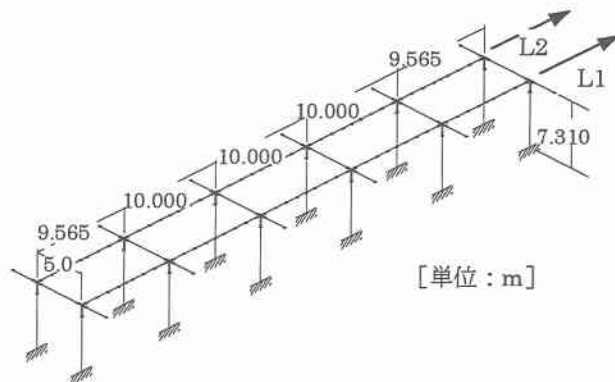
立体モデルにおける部材性能を把握するため、曲げ耐力、せん断耐力、ねじり耐力に着目し、検討を行った。

図-1の3次元モデルを使用し、静的非線形解析により解析を行った。

2.2 検討モデル

本検討では図-2 に示す鉄道用ラーメン高架橋を用いて行った。高架橋高さは、地中梁天端からスラブ天端まで $H=7.0\text{m}$ とし、解析骨組図の高さは地中梁の軸線位置から、上層梁の軸線位置までとした。図-1 の 3 次元モデルで径間数を 5 径間、3 径間、1 径間と変化させ部材性能を検討した。また、橋軸方向の L1 側と L2 側の荷重の比を 1 対 1、1 対 2 とし、径間数も同様に変化させたケースについても検討した。

なお、柱部材の非線形性のみ考慮することとし、梁部材は線形、基礎は直接基礎とした。荷重は図-3 のように載荷させ、これを慣性力として入力方向に与えた。



圖一1 3次元解析骨組圖

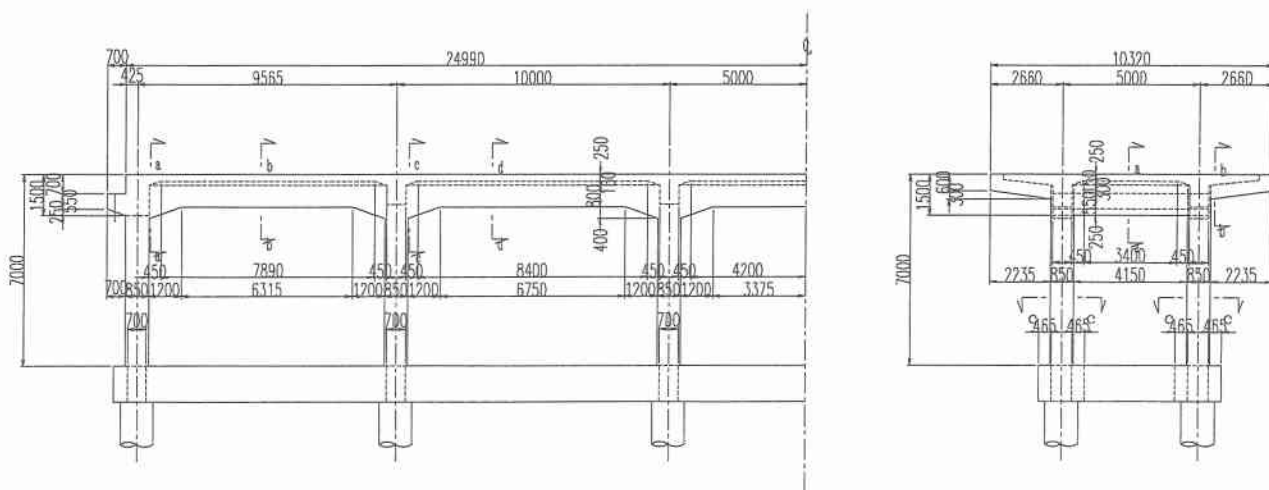


図-2 検討対象構造物

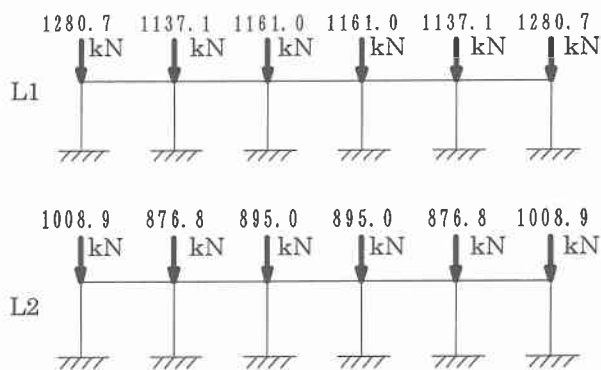


図-3 荷重載荷図

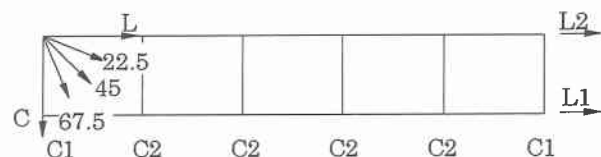


図-4 地震動の入力方向

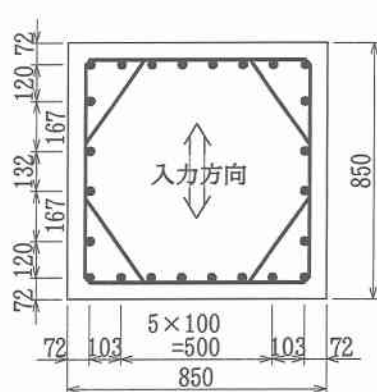


図-5 柱断面図

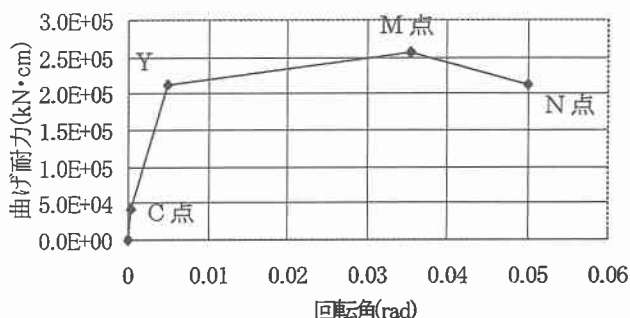


図-6 柱部材の非線形

2.3 地震動の作用方向

3次元の解析において、慣性力を橋軸方向、橋軸直角方向の他に図-4に示すように、 22.5° 、 45° 、 67.5° の方向に作用させる。

検討ケースを総括して表-1に示す。

なお CASE1~CASE3 は列車荷重を単線載荷とした。CASE4~CASE5 は L1 ラーメンと L2 ラーメンの慣性力の比を 1 対 1 とし、CASE6~CASE7 は L1 ラーメンと L2 ラーメンの慣性力の比を 1 対 2 としたものである。

表-1 検討ケース

ケース	径間数	慣性力作用方向								
		a	b	c	d	e	f	g	h	i
CASE-1	5 径間	a	b	c	d	e	f	g	h	i
CASE-2	3 径間	a	b	c	d	e	f	g	h	i
CASE-3	1 径間	a	b	c	e	f	g	h	i	
CASE-4	3 径間	e	f	g	h	i				
CASE-5	1 径間	e	f	g	h	i				
CASE-6	3 径間	e	f	g	h	i				
CASE-7	1 径間	e	f	g	h	i				

ここに、

- 2次元橋軸方向(列車載荷) : 2D-L1 →a
- 2次元橋軸方向 : 2D-L2 →b
- 2次元橋軸直角方向(端部) : 2D-C1 →c
- 2次元橋軸直角方向(中間部) : 2D-C2 →d
- 3次元橋軸方向 : 3D-L →e
- 3次元直角方向 : 3D-C →f
- 橋軸方向より 22.5° の方向 : 3D-22.5 →g
- 橋軸方向より 45° の方向 : 3D-45 →h
- 橋軸方向より 67.5° の方向 : 3D-67.5 →i

2.4 部材の非線形性

柱部材は、 $M-\theta$ 関係を考慮したビーム要素としてモデル化する。柱断面は全て図-5を使用し、どの入力方向に対しても同一の性能を有する事とした。図-6に示すように部材の曲げモーメントと部材角の関係で考慮する事とした。ここで、図-6における C 点、Y 点、M 点、N 点の曲げモーメントと部材角の計算方法¹⁾を下記に示す。なお、ねじり剛性は弾性として扱った。

(1) C 点の曲げモーメント M_c と部材角 θ_c

M_c は曲げひび割れ発生時の曲げモーメントであり、部材寸法の影響を考慮した設計曲げ強度に達する時の曲げモーメントとする。 θ_c は部材の全断面を有効として算定した M_c 時の部材角とする。

(2) Y 点の曲げモーメント M_y と部材角 θ_y

M_y は引張鉄筋が降伏する時の曲げモーメントとする。 θ_y は引張鉄筋が降伏する時の部材角とし、部材接合部からの軸方向鉄筋の抜出しの影響を考慮し、算定する。

(3) M 点の曲げモーメント M_m と部材角 θ_m

M_m はコンクリートの圧縮ひずみが $\epsilon_c' = 0.0035$ に達する時の曲げモーメントとする。 θ_m は躯体の曲げ変形による部材角と、部材接合部からの軸方向鉄筋の抜出しによる部材端部の回転角の和として算定する。ここで躯体の曲げ変形による部材角は、塑性ヒンジ部以外の曲げ変形によるものと、塑性ヒンジ部の曲げ変形によるものに分けて算定する。

(4)N 点の曲げモーメント M_n と部材角 θ_n

M_n は降伏曲げモーメント M_y とする。 θ_n は M 点における部材角と同様に算定する。

解析は、慣性力分布に応じて変位量を増分する変位増分法により行った。変位増分量の目安は、立体解析の 45° 方向と 67.5° 方向については 1 ステップ当たり 0.05mm 、その他のケースについては 1 ステップ当たり 1.25mm とした。なお、増分荷重は死荷重による慣性力を対象として行った。

復元力特性は JR 総研モデル¹²⁾とし、梁部材は弾性体とした。

3. 検討結果および考察

本検討は 3 次元解析の橋軸方向、橋軸直角方向、 22.5° 、 45° 、 67.5° 方向において検討を行った。部材耐力に着目し、せん断耐力、ねじり耐力による破壊判定を行った。

3.1 せん断破壊の判定

設計せん断耐力 V_{yd} と設計せん断力 V_d を比較することにより判定した。判定式は以下による。

$$V_d/V_{yd} \leq 1.0 \quad (1)$$

判定結果は図-7～図-14 に示す。これより、せん断破壊の判定となるものはなかった。

3.2 ねじり破壊の判定

ねじり耐力の算定式²⁾は以下に示す。

設計曲げモーメント M_d が同時に作用する場合の設計ねじり耐力 M_{tud} は式(2)～(4)で算定した。

$$M_{ud} \geq M'_{ud} \text{ かつ } \gamma_i \cdot |M_d| \leq M_{ud} - M'_{ud} \text{ の場合} \\ M_{tud} = M_{tumin} \quad (2)$$

$$M_{ud} \geq M'_{ud} \text{ かつ } M_{ud} - M'_{ud} \leq \gamma_i \cdot |M_d| \leq M_{ud} \text{ の場合} \\ M_{tud} = (M_{tumin} - 0.2M_{tcd}) \cdot \sqrt{(M_{ud} - \gamma_i \cdot |M_d|) / M'_{ud}} + 0.2M_{tcd} \quad (3)$$

$$M_{ud} < M'_{ud} \text{ かつ } M_{ud} - M'_{ud} \leq \gamma_i \cdot |M_d| \leq M_{ud} - M'_{ud} \text{ の場合} \\ M_{tud} = (M_{tumin} - 0.2M_{tcd}) \cdot \sqrt{(1 - \gamma_i \cdot |M_d|) / M_{ud}} + 0.2M_{tcd} \quad (4)$$

ここに、

M_{tud} : 設計ねじり耐力

M_d : 設計曲げモーメント

M_{ud} : M_d 作用時の引張側に配置した軸方向鉄筋を引張鉄筋と考えた場合の設計曲げ耐力の絶対値

M'_{ud} : M_d 作用時の圧縮側に配置した軸方向鉄筋を引張鉄筋と考えた場合の設計曲げ耐力の絶対値

M_{tumin} : M_{tcud} と M_{tyd} のうち、小さい方の値

M_{tcd} : 設計純ねじり耐力

γ_i : 構造物係数

設計せん断力 V_d が同時に作用する場合の設計ねじり耐力 M_{tud} は式(5)で算定した。

$$M_{tud} = M_{tumin} \cdot (1 - \gamma_i \cdot V_d/V_{yd}) + 0.2M_{tcd} \cdot \gamma_i \cdot V_d/V_{yd} \quad (5)$$

ここに、

M_{tud} : 設計ねじり耐力

V_d : 設計せん断力

V_{yd} : 棒部材の設計せん断耐力

M_{tumin} : M_{tcud} と M_{tyd} のうち、小さい方の値

M_{tcd} : 設計純ねじり耐力

γ_i : 構造物係数

式(2)～(5)により算定したねじり耐力 M_{tud} と、解析により発生したねじりモーメント M_t とを比較したものが、図-7～図-16 である。図中の M_t/M_{tud} は設計曲げモーメント M_d が同時に作用する場合の設計ねじり破壊の判定式であり、 M_t/M_{tud}^{**} は設計せん断力 V_d が同時に作用した場合のねじり破壊の判定式である。

図は M_t/M_{tud} が 1 を超えたケースのみ示すものとする。

なお、Y 軸の 1 を超えたものが、ねじり破壊する可能性のあるものである。

図-7～図-11 までは単線載荷の場合であるが、ねじりモーメントは入力方向が CASE3-g の 22.5° 、CASE3-h の 45° の時に大きく発生した。この 2 ケースに関しては、 M_t/M_{tud}^{**} もねじり破壊の可能性があるかと判定された。

図-12 では、L1、2 共に同じ慣性力を与えたものであっても、ねじり破壊する可能性があるかと判定された。

また、図-13 と図-14 は、L1 対 L2 の慣性力の比を 1 対 2 としたものである。このケースでは、橋軸直角方向の他は全てねじり破壊する可能性があるという結果となった。

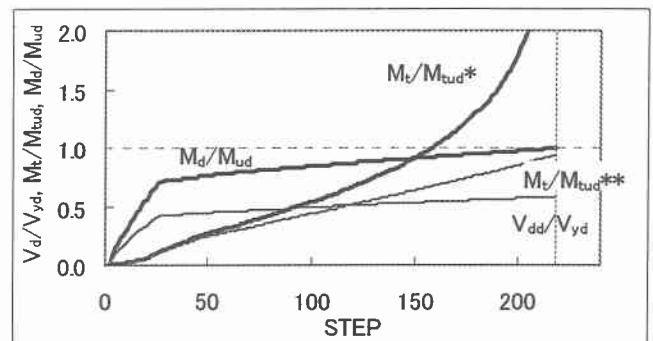


図-7 CASE3-e

(部材の破壊判定とステップの関係)

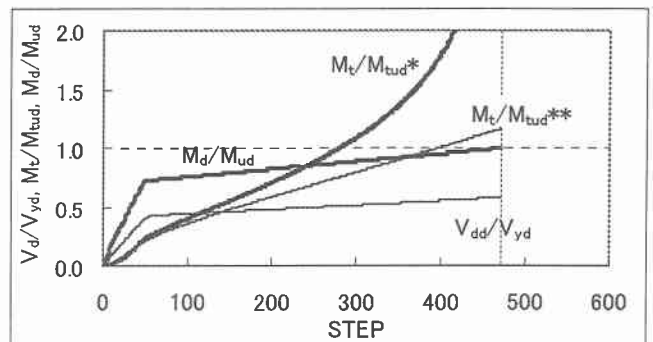


図-8 CASE3-g

(部材の破壊判定とステップの関係)

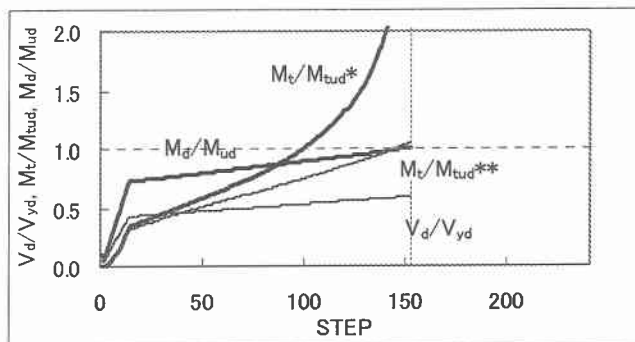


図-9 CASE3-h
(部材の破壊判定とステップの関係)

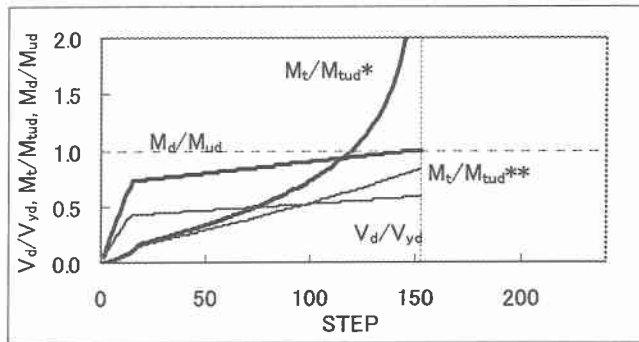


図-13 CASE6-h
(部材の破壊判定とステップの関係)

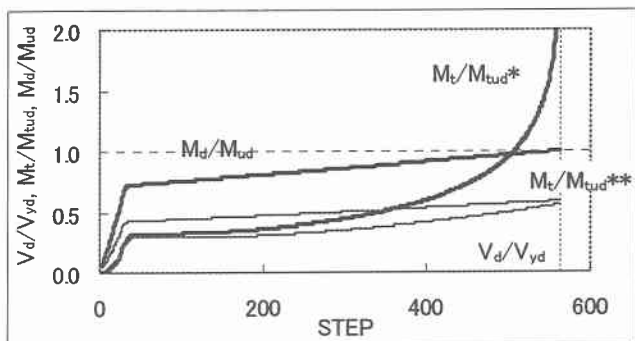


図-10 CASE3-i
(部材の破壊判定とステップの関係)

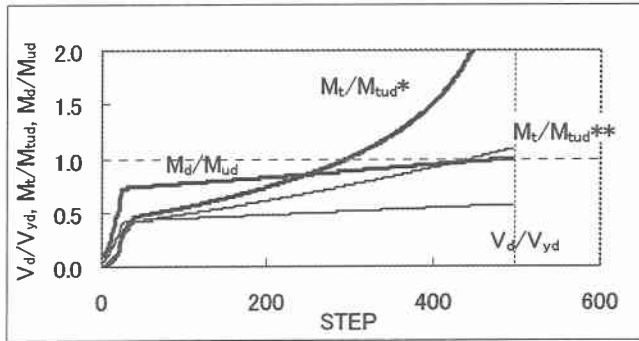


図-14 CASE7-i
(部材の破壊判定とステップの関係)

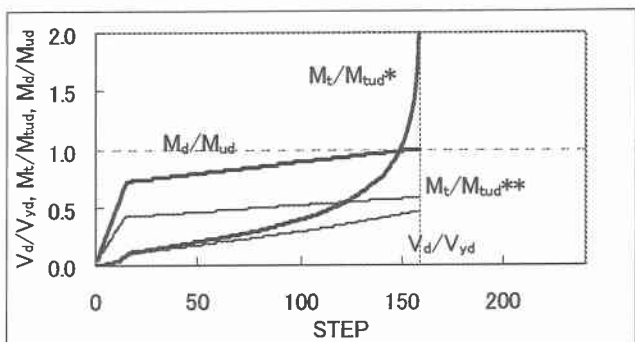


図-11 CASE2-h
(部材の破壊判定とステップの関係)

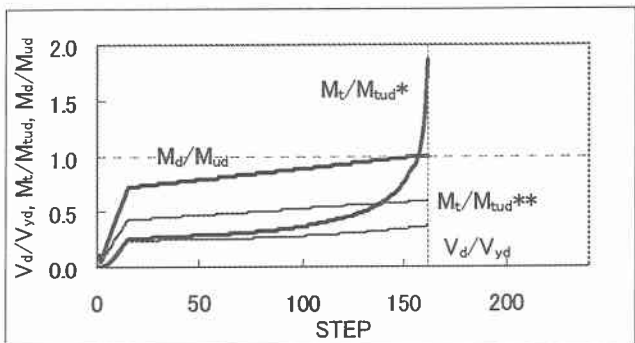


図-12 CASE5-h
(部材の破壊判定とステップの関係)

4. 結論

本研究では、3次元モデルにおける部材性能を把握するために解析を行った。特にねじりに関しては、3次元にモデル化し、立体解析ツールを使用することによって、ねじりモーメントの発生過程が把握しやすくなり、どのステップで破壊するかということも判明できるようになった。

本研究で使用したモデルは2次元解析により、ねじり破壊、せん断破壊しないものを使用した。せん断破壊に関しては、2次元解析同様、破壊しないという判定となった。しかし、ねじり破壊の判定に関しては、径間数が少ない場合で、さらに荷重の偏心が大きい場合に、ねじり破壊の可能性があるという結果を得た。特に入力方向が斜めである場合にねじり破壊する度合いが大きかった。今後詳細な検討が必要であると考えられる。

参考文献

- 1) 鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説（耐震設計），平成11年10月
- 2) 鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説（コンクリート構造物），平成11年10月