

地震動の入力方向が構造物の応答に及ぼす影響

The effect on structure response by input direction of seismic wave

北武コンサルタント(株) ○正会員 笠井 尚樹 (Naoki Kasai)
 北武コンサルタント(株) 正会員 桐本 裕二 (Yuuji Kirimoto)
 北武コンサルタント(株) 磯貝 縁 (Yukari Isogai)
 北武コンサルタント(株) 正会員 渡辺 忠朋 (Tadatomo Watanabe)

1. はじめに

現在の地震時の構造物の性能照査法における動的解析法の位置付けは極めて重要である。たとえば、道路橋示方書¹⁾においては地震動の挙動が複雑な構造物において、耐震性能の照査を動的解析法を用いて行うことが義務づけられている。

これは、地震時の挙動をより正確に推定することを目的としたものであり、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。

一般に橋梁等の構造物は橋脚躯体および杭等の種々の部材から構成され、完全に左右対称の構造物は少ないが、照査方法を簡略化する事を目的として一般には、構造物を左右対称であると仮定し地震動を1方向から入力して、構造物の地震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、左右非対称の構造物の場合、地震動の入力方向が異なれば、その応答性状も異なるのは言うまでもない。

そこで、本研究では、橋脚高さの異なるPCラーメン橋を対象として地震動の入力方向が、構造物全体の応答性状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

検討は、図-1に示す2次元モデルを使用し、入力地震動の方向を変えた動的非線形解析結果を比較検討することにより行った。

2.2 検討モデル

本検討では、検討対象構造物として3径間PCラーメン橋(道路橋)を用いて解析を行った。橋脚高さは、フーチング天端から上部工付け根までで、P1橋脚26.0m、P2橋脚33.5mとした。解析骨組み図の高さはフーチング下端から上部工軸線位置までとした。柱梁接合部およびフーチングは剛域とした。

部材の非線形性は、曲げモーメントに対してのみ考慮することとし、梁部材は、曲げモーメント(M)と曲率(ϕ)の関係、柱部材は曲げモーメント(M)と回転角(θ)の関係を使用した。柱部材の回転角(θ)は塑性ヒンジ領域の曲率から得られる値とした。なお、ひび割れ、鋼材の降伏、および最大耐力の3点でモデル化するトリリニア型モデルとした。

地盤は解析を簡略化するために線形とし、基礎部材の影響はフーチング底面の水平、鉛直、回転ばねにモデル化した。²⁾

質量は、死荷重(構造物自重+版上荷重)時の値とし、多質点配置とした。

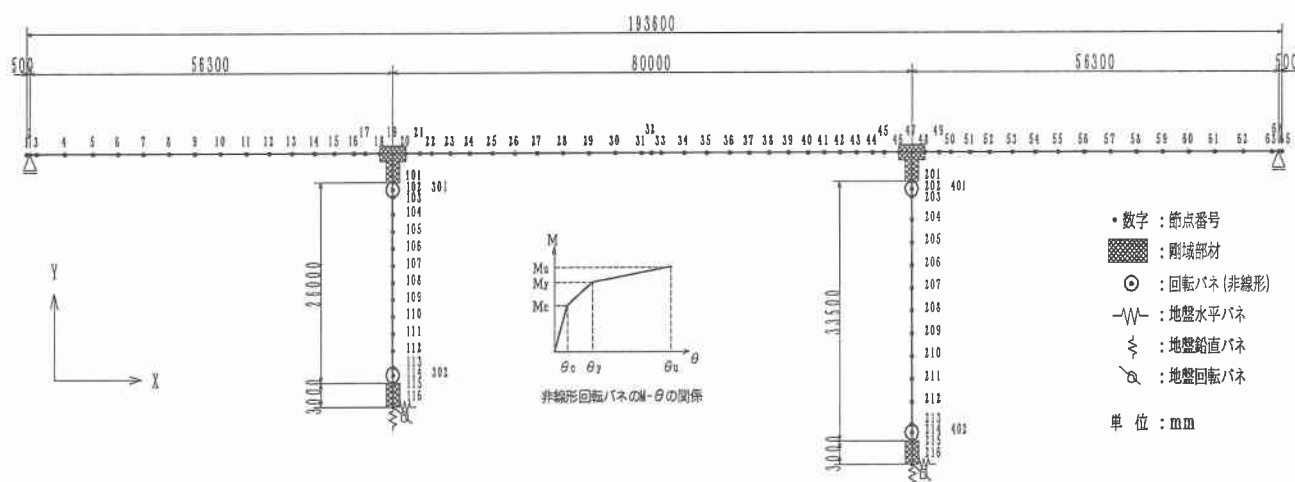


図-1 検討モデル図

2.3 解析条件

本検討における解析条件を以下に示す。

プログラムは、RESP-T(株式会社 構造計画研究所)を使用した。減衰は部材別剛性比例とし減衰定数は、履歴モデルを使用するため、梁部材は 0.03, 柱部材は 0.02, 基礎パネは 0.1 とした。積分時間間隔は、0.002sec とした。

なお、死荷重+二次力(クリープ・乾燥収縮および有効プレストレス力)を初期状態とした。

初期状態は、本検討では、各部材に初期断面力として与えた。

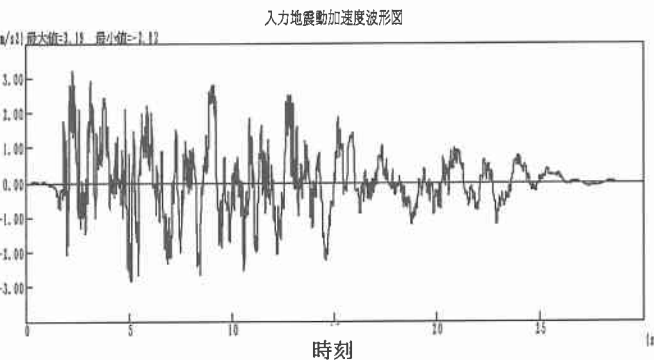
2.4 入力地震動と解析ケース

本検討には、道路橋示方書 V 耐震設計編に示される入力地震動を用いた。検討に用いた入力地震波の加速度時刻歴の例を図-2 に示す。

地震波は、L2 地震動の TYPE I および TYPE II のそれぞれ 3 種類の波形を使用した。^{1), 2)}

なお、本検討における地震波の入力方向の違いは、地震波形の加速度値の正負を逆転させた波形を用いることにより行った。これにより、非対称構造物および正負非対称の部材の履歴性状の違いを考慮することができると考えたためである。

解析ケースを表-1 に示す。



TYPE I A波 L2T1GIA
図-2 入力地震波の例

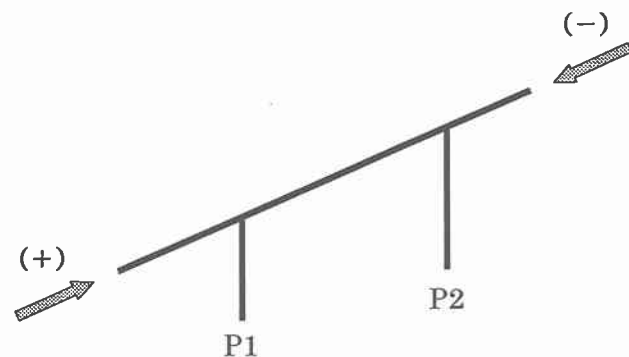


図-3 地震動の入力方向

表-1 解析ケース

タイプ	地震波形	入力方向
I	A	L2T1GIA
	B	L2T1GIB
	C	L2T1GIC
	A	L2T1GIA
	B	L2T1GIB
	C	L2T1GIC
II	A	L2T2GIA
	B	L2T2GIB
	C	L2T2GIC
	A	L2T2GIA
	B	L2T2GIB
	C	L2T2GIC

2.5 部材の非線形性

2.5.1 梁部材の非線形性

梁部材の非線形性は、曲げモーメントと曲率の関係で与えるものとし、ひび割れ、鋼材の降伏および最大耐力の 3 点でモデル化するトリリニア型モデルとした。²⁾

復元力は武田モデルとした。除荷剛性倍率(β)は、0.4 とした。

2.5.2 柱部材の非線形性

柱部材の非線形性は塑性ヒンジ部の曲げモーメントと曲率の関係から回転角に置換して与えるものとし、ひび割れ、鋼材の降伏、および最大耐力の 3 点でモデル化するトリリニア型モデルとした。

なお、柱部材は、ラーメン構造であるため軸力変動が生じるが計算を簡略化するために軸力変動の影響は無視し初期応力状態の軸力を用いた曲げ変形性能を用いた。復元力は武田モデルとした。除荷剛性倍率(β)は、0.4 とした。

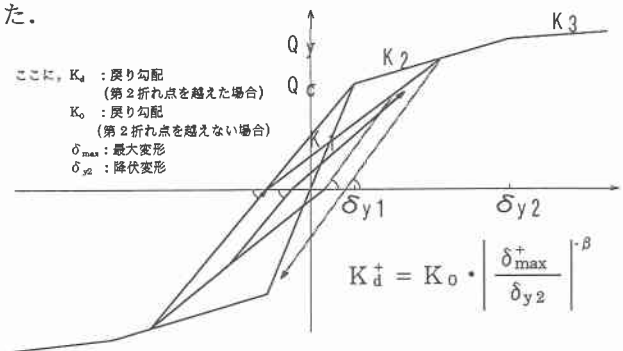


図-4 武田モデル

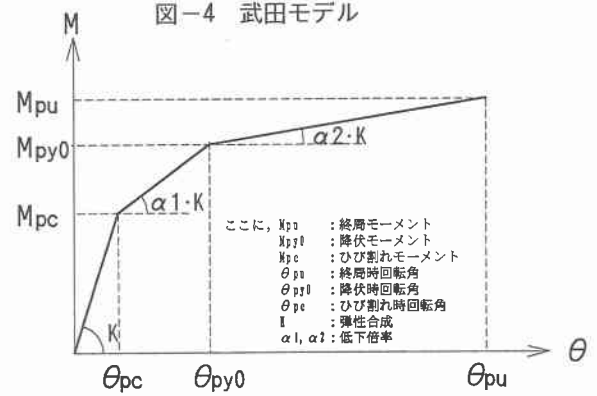


図-5 トリリニア型モデル

3. 解析結果および考察

解析対象構造物のモード図を図-6に示す。

各解析ケースの、柱梁接合部中心位置の水平変位と柱上下端の回転角の時刻歴を図-7～図-12に示す。図中の実線は、+側から地震波を入力した場合の応答値を示し、破線は、-側から地震波を入力した場合の応答値を示す。

数字は最大応答を示し、()は-側から地震波を入力した場合の最大応答を示す。

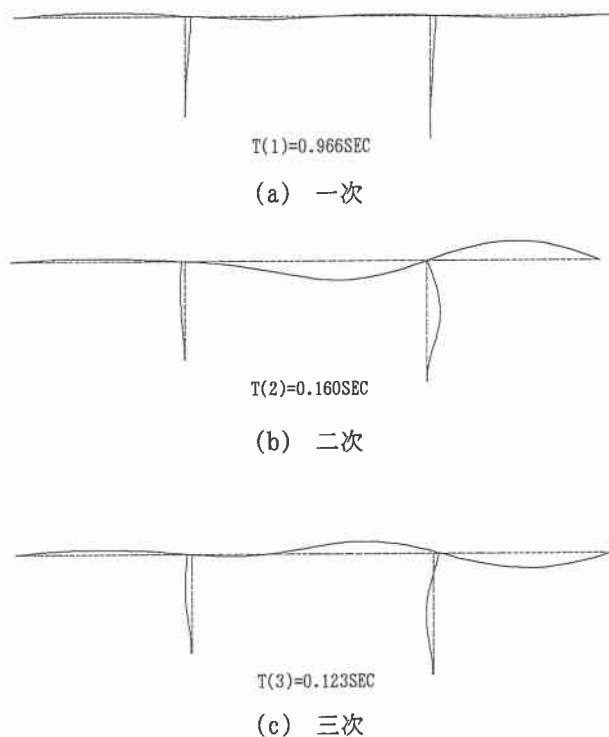


図-6 モード図

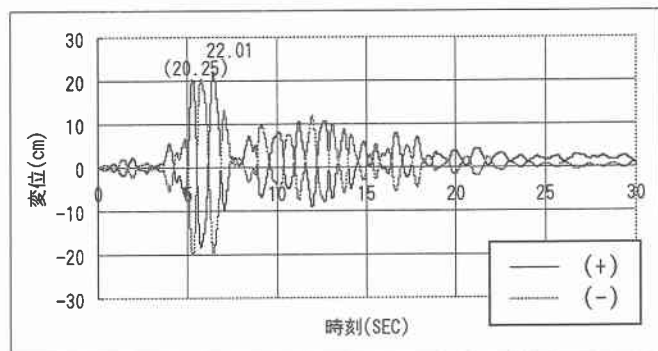


図-7 橋軸方向 タイプII B波 変位時刻歴(節点19)

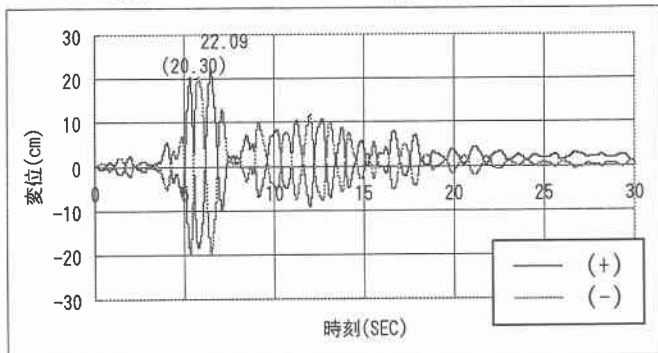


図-8 橋軸方向 タイプII B波 変位時刻歴(節点47)

最大応答値に着目すると、P1 橋脚および P2 橋脚の柱・梁接合部での最大応答変位の比は、0.92～1.09(平均 0.99)である。節点 19 において、タイプ I の地震動の場合変位の応答値が最大となるケースは-側から地震波を入力した場合であり、タイプ II の地震動については-側から地震波を入力した場合となる。節点 47 についても同様の結果となった。

柱上端での最大応答回転角の比は、P1 橋脚では 0.92～1.17(平均 1.04)、P2 橋脚では 0.97～1.05(平均 1.00)である。

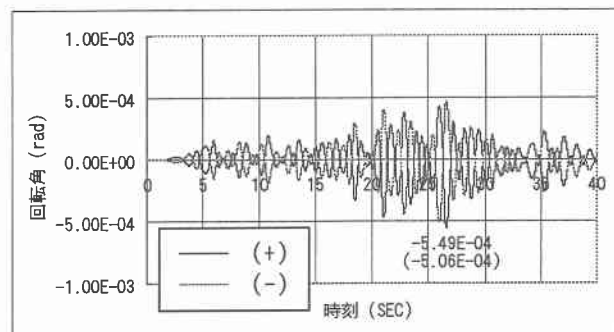


図-9 橋軸方向 タイプI C波 回転角時刻歴(P1 上端)

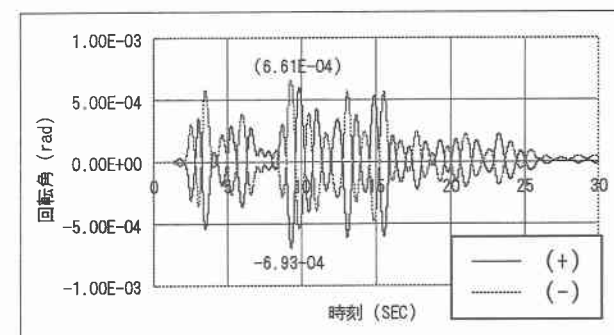


図-10 橋軸方向 タイプI A波 回転角時刻歴(P2 上端)

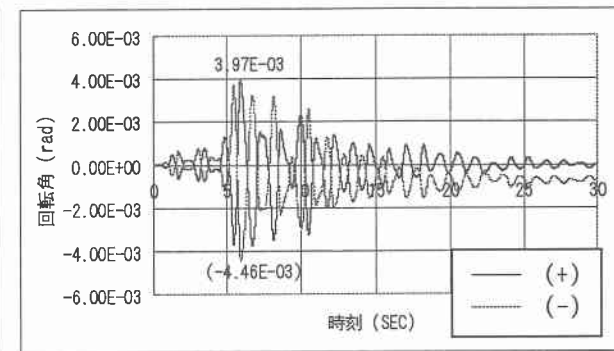


図-11 橋軸方向 タイプII A波 回転角時刻歴(P1 下端)

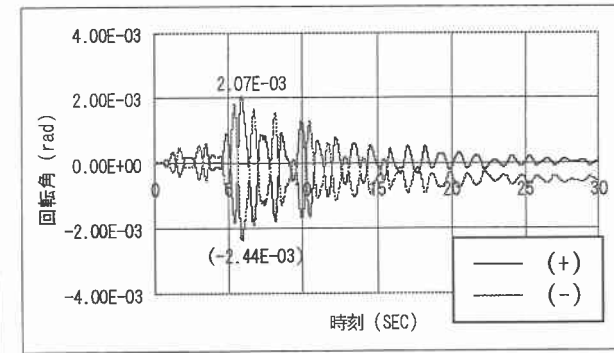


図-12 橋軸方向 タイプII A波 回転角時刻歴(P2 下端)

P1 橋脚において、タイプⅠの地震動の場合回転角の応答値が最大となるケースは+側から地震波を入力した場合であり、タイプⅡの地震動については-側から地震波を入力した場合となる。P2 橋脚についても同様の結果となった。

柱下端での最大応答回転角の比は、P1 橋脚では 0.89～1.12(平均 0.99),P2 橋脚では、0.85～1.16(平均 0.99)である。P1 橋脚において、タイプⅠおよびタイプⅡの地震動ともに回転角の応答値が最大となるケースは+側から地震波を入力した場合である。P2 橋脚において、タイプⅠの地震動の場合回転角の応答値が最大となるケースは-側から地震波を入力した場合であり、タイプⅡの地震動では+側から地震波を入力した場合となった。

ここで、応答値の比とは、-側から地震波を入力した場合の応答値を 1 とした場合の比率とした。

P2 橋脚下端のタイプⅡ地震動 3 波の+-の曲げモーメントと回転角の履歴ループを図-13 に示す。これによると、地震動の入力方向が異なると明らかに履歴ループが異なることが分かる。このように、地震動の入力方向が異なれば、構造物全体の応答は変化し、初期応力状態によってはこの傾向がより顕著になり、構造物全体の応答性状や残留変位などにも大きな影響を与える可能性があることを示唆しているものと考える。

表－2 橋軸方向最大応答変位(cm)

タイプ	地震 波形	節点19		節点47		比率(+/-)	
		+	-	+	-	19	47
Ⅰ	A	-19.53	20.09	-19.61	20.16	0.97	0.97
	B	16.62	17.44	16.68	17.50	0.95	0.95
	C	-18.58	19.69	-18.66	19.76	0.94	0.94
Ⅱ	A	-19.71	21.36	-19.75	21.39	0.92	0.92
	B	22.01	20.25	22.09	20.30	1.09	1.09
	C	22.66	-20.92	22.72	-20.98	1.08	1.08

表－3 橋軸方向最大応答回転角(×10⁻⁴rad)

タイプ	地震 波形	P1 上端		P2 上端		比率(+/-)	
		+	-	+	-	P1	P2
Ⅰ	A	-5.61	4.81	-6.93	6.61	1.17	1.05
	B	-5.10	-5.08	-6.13	6.31	1.00	0.97
	C	-5.94	-5.06	-6.64	6.38	1.17	1.04
Ⅱ	A	-5.58	-5.40	-7.15	7.09	1.03	1.01
	B	-5.38	-5.57	-6.85	7.00	0.97	0.98
	C	-5.37	-5.81	-7.07	7.21	0.92	0.98

表－4 橋軸方向最大応答回転角(×10⁻³rad)

タイプ	地震 波形	P1 上端		P2 上端		比率(+/-)	
		+	-	+	-	P1	P2
Ⅰ	A	3.94	-4.01	2.24	-2.31	0.98	0.97
	B	-2.94	-3.19	-1.51	-1.64	0.92	0.92
	C	3.67	-3.93	2.07	-2.27	0.93	0.91
Ⅱ	A	3.97	-4.46	2.07	2.44	0.89	0.85
	B	-4.70	-4.20	-2.70	-2.42	1.12	1.12
	C	-4.89	4.46	-2.85	2.46	1.10	1.16

4. 結論

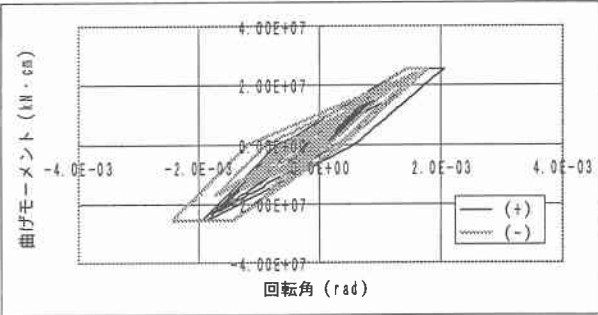
橋脚高さの異なる PC ラーメン橋について、地震動の入力方向を変化させた場合の応答値の比較を行うことにより、地震動の入力方向が、構造物の応答性状に与える影響を明らかにするため、今回の検討を行った。タイプⅠの地震動とタイプⅡの地震動で最大応答となる地震波の入力方向は一定ではない結果となった。最大応答変位は、地震波の入力方向によって最大で 1.09 倍の差異が生じ、最大応答回転角については、1.18(=1/0.85)倍の差異が生じる結果となった。

したがって、左右非対称な構造物については、地震波を+側から入力した場合と-側から入力した場合の両ケースについて検討する必要があると考えらる。

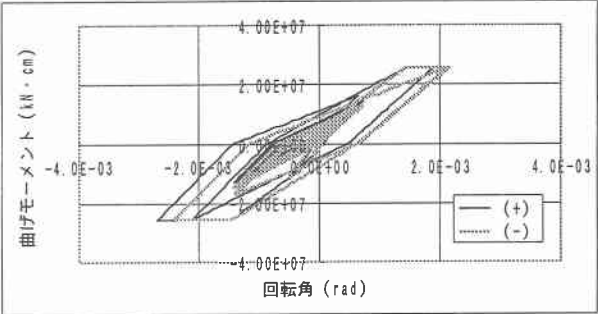
本検討の橋脚高さの比は約 1:1.3 程度である。今後は橋脚高さの比が変化した場合の構造物の応答性状についても検討する予定である。

参考文献

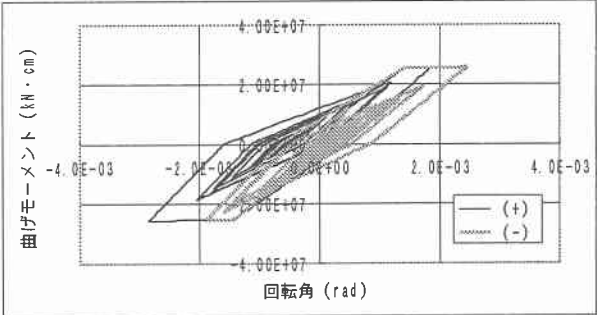
- 1) 社団法人日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅴ耐震設計編,平成 8 年 12 月
- 2) 社団法人日本道路協会：道路橋の耐震設計に関する資料,平成 10 年 1 月



(a) タイプIIA波 (P2 下端)



(b) タイプIIB波 (P2 下端)



(b) タイプIIC波 (P2 下端)

図-13 曲げモーメント、回転角履歴ループ図