

大阪大学大学院 学生員○隅谷 亮 大阪大学大学院 学生員 池内智行
大阪大学大学院 学生員 権 映録 大阪大学工学部 正会員 西村宜男

1. まえがき 近年、都市高架道路の橋脚構造として、立地スペースの制約や架設期間の短縮等の理由で鋼製橋脚が採用される機会が増えている。このような形式の単柱式鋼製橋脚の場合には特に頂部に大きな質量を有するため、巨大地震の際に非常に大きな慣性力がかかり、動的応答特性が特に問題となる。兵庫県南部地震においても、多くの鋼管橋脚に大きな被害が生じた。そこで本研究では、実際被害を受けた鋼管橋脚を含め新しい基準に準拠して耐震検討を行った橋脚を対象として、弾塑性解析を行い鋼管橋脚の地震応答特性を明らかにする。なお局部座屈は考慮していない。また鋼材の構成則として本研究室で開発された繰返し塑性履歴を受ける鋼材の構成式¹⁾を用いた。今回用いた地震波は、兵庫県南部地震において JR 鷹取駅、神戸海洋気象台で観測された地震波(NS 成分)、道路橋示方書に示されている Level2 地震波の 3 種類である。

2. 解析モデル 阪神高速神戸線松原交差点付近の兵庫県南部地震において被害を受けた橋脚 NP-584 についての解析結果を報告する。解析モデルの諸元を表-1 に、また橋脚の詳細図・モデル図を図-1 に示す。いずれの橋脚もセグメントごとに板厚または鋼種が変化している。橋脚の張り出し部は剛棒とみなした。充填コンクリートは板厚換算し、断面は 36 の細要素に分割し、それぞれの細要素で弾塑性の判定を行っている。

表-1 解析モデル諸元

モデル	要素	断面寸法 (mm)	鋼種	要素高 (m)	橋脚高 (m)	降伏変位 (cm)	固有周期 (s)
NP-584	①	φ 2200×t51	SM490	2.63	15.71	8.24	0.93
	②	φ 2200×t25	SM490	0.63			
	③	φ 2200×t25	SS400	4.00			
	④	φ 2200×t19	SS400	6.00			
	⑤	φ 2200×t19	SM490	1.28			

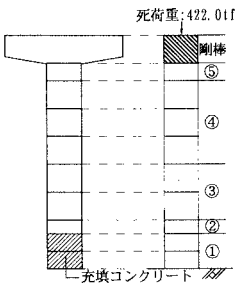


図-1 詳細図・モデル図

3. 解析結果 橋脚 NP-584 に JR 鷹取駅 NS 成分の最大加速度を 100gal から 666gal まで 18 種類に定数倍した地震波を用いて解析を行った際の橋脚の応答特性を検討する。最大入力加速度と最大応答変位および残留変位の関係図を図-2 に、最大入力加速度 366gal 時と 500gal 時において最も大きな挙動を示したセグメント(要素③での下部)に関する応力-ひずみ関係を図-3 に示す。

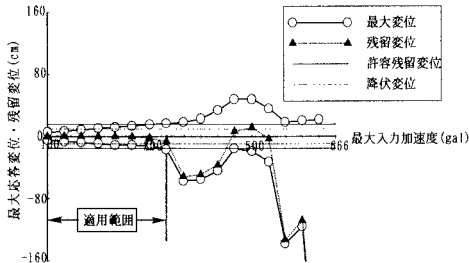
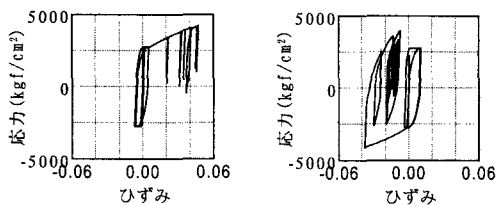


図-2 最大入力加速度と最大変位・残留変位の関係図 (NP-584にJR鷹取駅NS成分を入力時)

図-2 より、最大入力加速度が 200gal を超えるあたりより塑性化が始まり残留変位も生ずるが、最大入力加速度 333gal までは残留変位も小さく機能上は問題ないといえる。最大入力加速度が 366gal 時にはマイナス方向に最大変位が急増しながら一方向に傾いていく。残留変位においてもマイナス方向に 51.7cm と橋脚高の 3.29%で許容範囲である橋脚高の 1%を大きく上回る。しかし最大入力加速度 366gal をピークに残留変位は減少し、最大入力加速度 466gal, 500gal, 533gal では残留変位は若干の増減を繰り返しながらも許容範囲に収まっている。最大入力加速度が 566gal を超えると再び大きくマイナス方向に傾いていく。このようにある入力地震波により生じた残留変位が小さく許容範囲内に収まっていたとしても、それよりも小さな入力地震波でより大きな残留変位を引き起こす可能性もありえる。このような応答特性の生じた理由を図-3 の応力-ひずみ関係からみると、最大入力加速度 366gal においては一方向に大きな塑性変形を生じた後に応力-ひずみ履歴が閉じたループを描いており、全体としては応力-ひずみ履歴の

ループは開いている。その結果大きな残留変位が生じている。それに対して最大入力加速度 500gal においては一方に大きな塑性変形を生じた直後に反対方向に大きな塑性変形が生じており、その後応力-ひずみ履歴が閉じたループを描いており、初期の塑性変形が打ち消されたため全体としても閉じたループを描いている。それにより残留変位も小さく収まっている。他の地震波及び橋脚に対しても、同様の傾向がみられることもあった。



(1) 最大入力加速度：366gal (2) 最大入力加速度：500gal

図-3 応力-ひずみ関係

3. 動的解析の適用範囲 鋼製橋脚の応答は入力波形が同じでも最大入力加速度により大きく変化する。その変化は入力加速度の大きさに依存するとは限らず、加速度が大きくなっても応答変位および残留変位が小さくなるという現象が起こりうるということが確かめられた。即ち特定の強震記録を用いて動的解析を行った結果、残留変位が既定値内に収まっても、それより小さい地震に対しても耐震性が保証される訳ではない。例えば橋脚 NP-584 に対して JR 鷹取駅 NS 成分の最大加速度を 500gal に調整して解析を行なった結果応答値は小さくなるが、実際はそれより小さな最大加速度で許容値を上回るような応答を示しており、ここで得られた解析結果は信頼性の低いものとなる。言い換えれば信頼性の高い解析結果は最大入力加速度 333gal までとなり、動的解析の適用範囲の限界入力加速度は 333gal といえる。このような限界入力加速度は地震波および橋脚の種類により異なってくる。そこで今回、その他の被災橋脚 (SP-582, SP-585)、再構築橋脚 (NP-584, SP-585) および震度法により作成した計 24 種類のモデルに対しても同様の解析を行った。その時のそれぞれの橋脚に許容応力度に収まるように換算された震度を等価設計震度 h_t とした時、各地震波ごとの等価設計震度 h_t と限界入力加速度の関係は図-4 のようになる。図-4 において下限値をとった曲線が動的解析の適用範囲の境であると考えられる。この曲線より小さな入力加速度においては動的解析も信頼性のある解が得られ有効である。これを上回る地震波に対しては、残留変位が不規則に生じる可能性が高いと

考えられる。よって用いる地震波が一つではその解析結果は信頼性に欠けることになり、本論文で行なったように、ある一つの地震波に対しても複数に振幅調整した地震波を用いて動的応答解析を行なう必要があると考えられる。

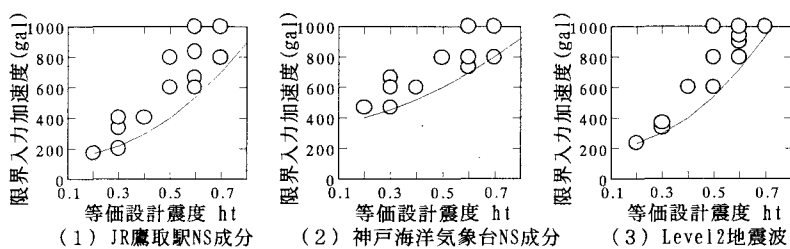


図-4 等価設計震度と限界入力加速度の関係

4. まとめ 今回の解析結果より鋼製高橋脚橋梁の地震応答特性は、地震波の種類・大きさ及び橋脚等により大きく異なってくることが確かめられた。ある地震波で、耐震設計の目安の一つである最大変位・残留変位が小さくなったとしても、それよりも小さな地震波でより大きな変位を引き起こす可能性も考えられ、動的解析の信頼性のある適用範囲が限られてくる。その適用範囲は等価設計震度により決定されており、1000gal の加速度にも耐えうる橋脚を設計するには図-4 より等価設計震度 0.7 以上が必要となる。しかし全ての橋脚に対して等価設計震度を高く設定するのは非常に不経済である。そこで特に重要度が高く、また非常に地震の発生頻度が高い地域における橋脚等に対しては充填コンクリート、補剛材等の補強を施して等価設計震度を出来るだけ高く設定すべきである。それに対して、重要度の低くまた地震の発生頻度が低い地域の橋脚に対しては等価設計震度をむやみに高く設定せず、橋脚ごとに地震荷重の影響を考慮して等価設計震度を設定する必要がある。

【参考文献】 1) 西村宣男・小野潔・池内智行：単調荷重曲線を基にした繰り返し塑性履歴を受ける鋼材の構成式、土木学会論文集、No. 513/I-31, pp. 27-38, 1995年4月