

RC ラーメン高架橋の最適耐震設計と耐震照査について

日本高圧コンクリート（株） 正会員 斉藤裕俊 北武コンサルタント（株） 正会員 渡辺忠朋
 北海学園大学 正会員 杉本博之

1. まえがき 筆者らはこれまで、改訂された示方書類^{1) 2)}に基づいて、静的非線形解析による耐震性の評価のもとに最適化手法 GA を応用した、最適耐震設計システムを検討してきた^{3) 4)}。これらでは、兵庫県南部地震で実際に破壊した JR の RC ラーメン高架橋を例にとり、最適耐震補強設計を求めた。本研究では、新たに新設の RC ラーメン高架橋を対象として、最適耐震設計を算出することを試みた。これまでの既設構造物の補強設計では、補強量や補強箇所を設計変数としていたが、新設設計においては、各部材の断面幅、高さ及び鉄筋量などの断面構成を設計変数とした。耐震性の照査法には非線形スペクトル法を用い、目的関数にはトータルな費用の面から、コンクリート量と鉄筋量の線形和の最小化問題とした。数値計算例では、RC ラーメン高架橋の杭基礎構造を例にとり、4種類の杭径を設定し、それぞれの杭径ごとに JR で規定されている地盤種別に対する最適設計を算出した。また、得られた最適設計に対して時刻歴動的解析による照査も行った。

2. 設計変数 最適化する柱及び梁部材の設計変数は断面幅 B 、断面高さ H 、軸方向鉄筋本数 N 、軸方向鉄筋段数 J 、せん断補強鉄筋径 D_w 、1 段あたりのせん断補強鉄筋組数 N_w 、せん断補強鉄筋配置間隔 S_v とする。ここで B 、 H 、 J 、 N に関する断面構成を図-1 に示し、それらの断面データを表-1 に示した。柱部材は正方形断面、梁部材は長方形断面とし、軸方向鉄筋本数は断面幅から決定される。軸方向鉄筋径は 32mm の固定値とし、柱部材にのみ側方鉄筋を配置している。軸方向鉄筋段数は 1 段配置または 2 段配置とした。図-1 の柱部材は 1 段配置、梁部材は 2 段配置の例を示している。また、せん断補強鉄筋の組数として図-2 を、配置間隔として図-3 を示し、これらのせん断補強鉄筋データを表-2 に示した。せん断補強鉄筋径 D_w は 16~25mm の 4 種類、せん断補強鉄筋本数 N_w は 1~3 組とした。せん断補強鉄筋配置間隔は、部材両端からの $2H$ 区間 S_w は、柱部材を 100mm、梁部材を 150mm の固定値として、 $2H$ 区間外 S_v を設計変数とした。柱部材は 100mm または 200mm、梁部材は 150mm または 200mm とした。これらの設計変数の組み合わせから各部材の最適断面構成が決定される。

3. 数値計算例 数値計算例では、1.0、1.2、1.5、2.0m の杭径を設定し、それぞれの杭径ごとに G3~G7 地盤に対する最適設計を算出した。また、杭長については、G3~G4 地盤は 20m、G6~G7

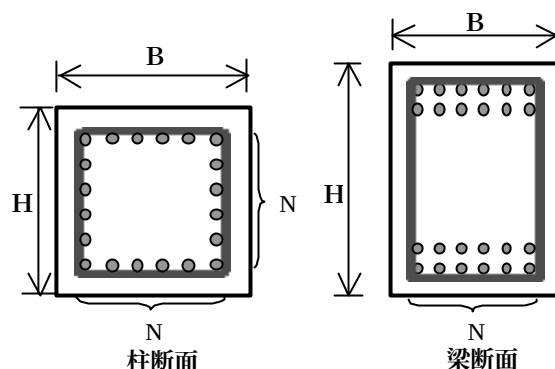


図-1 設計断面詳細図

表-1 部材断面データ

B (mm)	H (mm)		N (本)	J (段)
	柱	梁		
600	600	800~1500	6	1 or 2
700	700	900~1600	8	
800	800	1000~1700	9	
900	900	1100~1800	10	
1000	1000	1200~1900	11	
1100	1100	1300~2000	11	
1200	1200	1400~2100	12	
1300	1300	1500~2200	13	

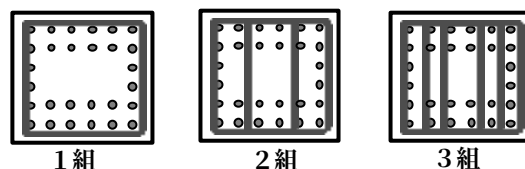


図-2 せん断補強鉄筋組数の詳細図

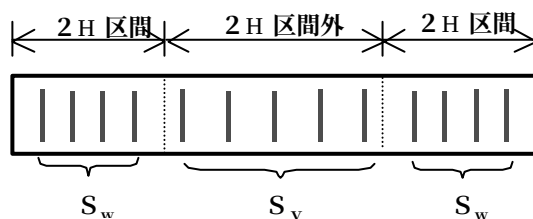


図-3 せん断補強鉄筋配置間隔

表-2 せん断補強鉄筋データ

部材	D_w (mm)	N_w (本)	S_w (mm)	S_v (mm)
柱	16	1~3	100	100 or 200
	19	1~3		
	22	3		
	25	3		
梁	16	1~3	150	150 or 200
	19	1~3		
	22	3		
	25	3		

キーワード 最適設計、耐震設計、地盤種別、杭径、非線形スペクトル法、時刻歴動的解析

〒064-0926 札幌市中央区南 26 条西 11 丁目 TEL (011) 841-1161 FAX (011) 551-2951

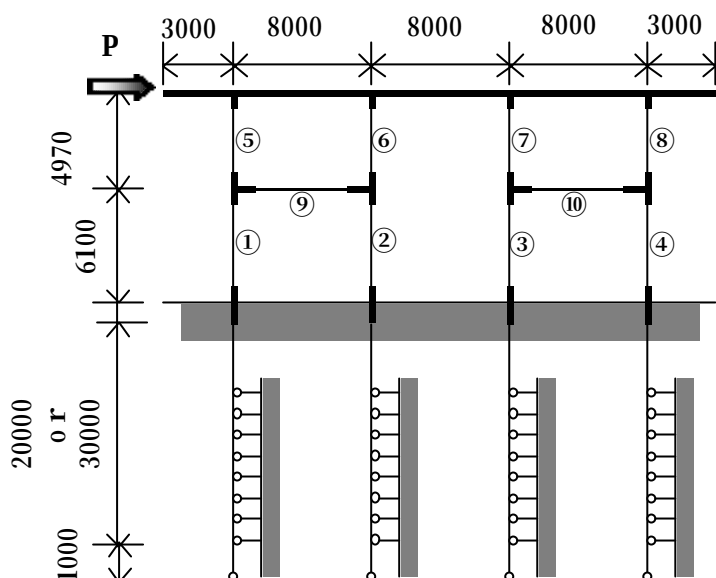


図-4 RCラーメン高架橋杭基礎構造 (mm)

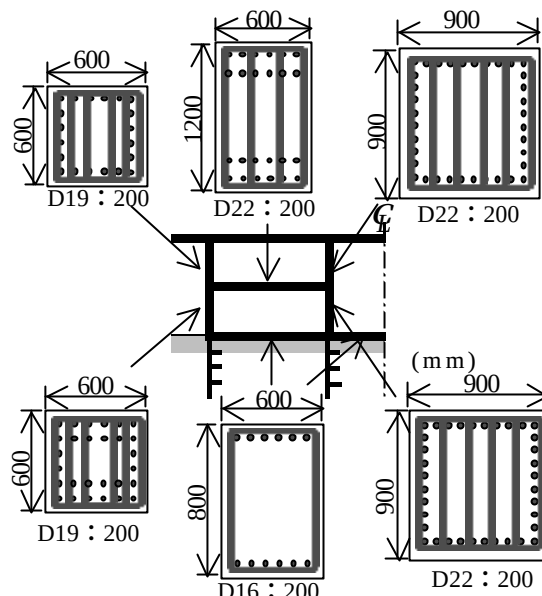


図-5 最適設計の一例 (G3地盤, 杭径1.0m)

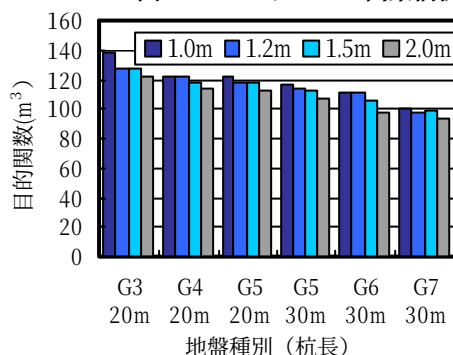


図-6 最適設計結果

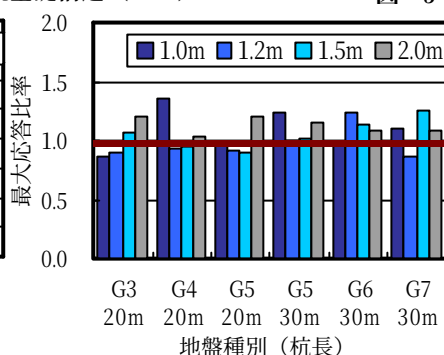


図-7 動的解析結果

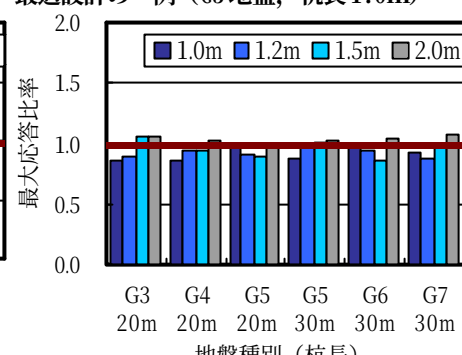


図-8 設計修正後の動的解析結果

地盤は30mとして、G5地盤には20mと30mの両方を設定した。図-4に、数値計算に用いた構造図を示す。図中の番号で示されている部材が設計対象部材である。静的非線形解析では、図のように構造頂部に水平荷重を漸増载荷している。最適設計結果の一例として、G3地盤、杭径1.0mの結果の断面図を図-5に示す。構造が左右対称なので左側半分のみを示している。また、各断面図の下には、せん断補強鉄筋の鉄筋径と配置間隔を示した。外側の柱と内側の柱で、断面寸法が異なる設計となったのが特徴的である。これは他の地盤条件及び杭径についても同様の傾向が得られている。また、全ての最適設計結果として、地盤種別ごとに目的関数値と杭径の関係を図-6に示した。結果から杭径が大きくなるに従い、またG3地盤（普通地盤）からG7地盤（軟弱地盤）に向かうに従い、目的関数値は減少する傾向にある。これらの最適設計に対して、設計の妥当性を検討するため時刻歴動的解析による照査を行った。結果を図-7に示す。図の縦軸は応答比率の最大値、横軸は地盤種別である。この応答比率は、時刻歴動的解析で得られた各部材のせん断力と部材角の応答値を、それぞれの限界値で除した値であり、1.0以下であれば制約を満足していることになる。図中には、各部材の応答比率の中で最も大きい値を示した。結果をみると、G4地盤の杭径1.0mなど、制約を満足しない設計もいくつかみられた。これらの満足しなかった最適設計に対して設計の微小変更を行い、再度、時刻歴動的解析を行った。結果を図-8に示す。G7地盤の杭径2.0mなど、応答比率が1.0を超えたものもあるが、応答比率は最大でも1.07と満足しなかった程度が極めて微小であるため、許容範囲内であると考えられる。

4. あとがき 新設の耐震設計問題に、最適化手法GAを用いて最適設計を行い、その結果を時刻歴動的解析で照査する最適耐震設計システムを検討した。数値計算の結果、最適設計は時刻歴動的解析で制約を満足しない場合もあるが、その場合も設計の微小修正で制約を満足し、最適耐震設計システムの妥当性が検証されたと思われる。

参考文献 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説V耐震設計編，1996。 2) 鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説一耐震設計，1999。 3) 杉本・渡辺・満尾：弾塑性挙動を考慮するRCラーメン構造の補強最適化の一試み，構造工学論文集 Vol. 45A，1999。 4) 杉本・渡辺・斎藤：RCラーメン高架橋の耐震補強最適化に関する研究，構造工学論文集 Vol.46A，2000。