

高強度材料を用いる RC 橋脚の最適耐震設計について

（株）シー・イー・サービス 正会員 亀海 貴寛， 北海学園大学 正会員 杉本 博之
北武コンサルタント（株） 正会員 渡邊 忠朋

1. 研究目的 現在，土木学会をはじめとする種々の機関において，性能照査型設計法の導入が検討され一部で試行されつつある¹⁾。性能照査型設計法においては，使用材料を限定する必要はないと考えられる。また，近年では，高強度の使用材料を用いた設計・施工も行われており，これらを用いる事で合理的な設計が可能になると考えられる。そこで本研究では，使用材料の高強度化が設計解に及ぼす影響について検討する。直接基礎構造に関する結果はすでに発表している²⁾。本報告では，杭基礎構造を対象とした計算結果について報告する。

2. 高強度材料 ここでは，本研究で用いた使用材料とその組み合わせについて説明する。本研究は，鉄筋コンクリート構造物を対象としているため，使用材料は，コンクリートと鉄筋になる。コンクリートの場合，材料強度が 27, 30, 40, 50, 60, 70N/mm²，鉄筋の場合，設計強度が 345, 390, 490, 685, 785N/mm² のものを用いている。表 - 1 に本研究で用いた使用材料の組み合わせを示している。表中の が，材料の組み合わせである。なお，後の数値計算例では，これらの組み合わせの計算を行うものとした。

3. 部材骨格曲線 本研究は，鉄道 RC 構造物を対象としている。そのため部材の骨格曲線は，鉄道構造物等設計標準³⁾（以下，鉄道標準）に示されるテトラリニアモデルのモーメント M - 部材角 の関係を用いた。骨格曲線は耐震性能および部材の損傷レベルと関連づけられている。骨格曲線と損傷レベルの関係を図 - 1 に示す。図の C 点はひび割れ発生点，Y 点は鉄筋降伏点，M 点はモーメント最大点，N 点は終局点である。

4. 初期建設費用および補修費用⁴⁾ 初期建設費用は，上部構造の建設費用と，杭の建設費用の和から次式により算定する。

$$iC = C_u + C_p \quad (1)$$

ここで， iC は初期建設費用， C_u は上部構造の工事費， C_p は杭の工事費である。 C_u と C_p はそれぞれ，コンクリート容積，鉄筋容積，および使用材料の関係から算定する。式 (2) に上部構造の建設費用の算定式を，式 (3) に 杭の建設費用の算定式を示す。

$$C_u = \alpha_c \cdot V_c \cdot K_c + \alpha_s \cdot W_s \cdot K_s \quad (2)$$

$$C_p = K_p \cdot L + \alpha_c \cdot V_{cp} \cdot K_{cp} + \alpha_s \cdot W_{sp} \cdot K_{sp} \quad (3)$$

ここで， α_c はコンクリートの強度による単価補正係数で表 - 2 に示す。 V_c は上部構造のコンクリート量 [m³]， K_c は呼び強度 27N/mm² のコンクリート単位容積当たりのコスト (=65.1) [unit/m³]， α_s は鉄筋の強度による単価補正係数で表 - 3 に示す。 W_s は上部構造の鉄筋重量 (=V_s・G_s) [kN]， V_s は上部構造の鉄筋体積 [m³]， G_s は鉄筋の単位重量 (=77.0) [kN/m³]， V_{cp} は杭のコンクリート量 [m³]， K_s は SD345 の鉄筋

表 - 1 材料の組み合わせ

	鉄筋				
	345	390	490	685	785
コンクリート	○	○	○	×	×
27	○	○	○	○	×
30	○	○	○	○	○
40	○	○	○	○	○
50	○	○	○	○	○
60	○	○	○	○	○
70	○	○	○	○	○

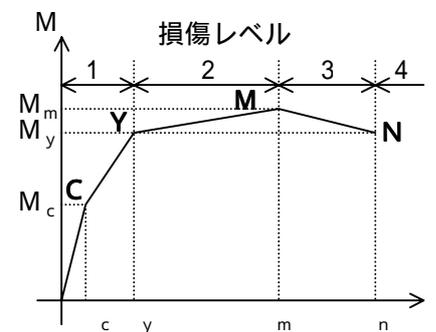


図 - 1 骨格曲線 (M - 関係)

表 - 2 コンクリートの単価補正係数

呼び強度	α_c
27	1.00
30	1.02
40	1.11
50	1.50
60	1.65
70	1.83

表 - 3 鉄筋の単価補正係数

規格	α_s
345	1.00
390	1.13
490	1.42
685	3.00
785	3.00

表 - 4 杭基礎コスト係数

杭径 (mm)	杭長L(m)	
	20	30
1000	52.6	51.2
1200	53.3	52.1
1500	56.3	55.4
2000	60.2	59.8

キーワード 高強度材料，RC 構造物，補修費用，最適耐震設計

連絡先 〒062-0032 札幌市豊平区西岡 2 条 8 丁目 5-27 (株)シー・イー・サービス TEL (011)855-4440

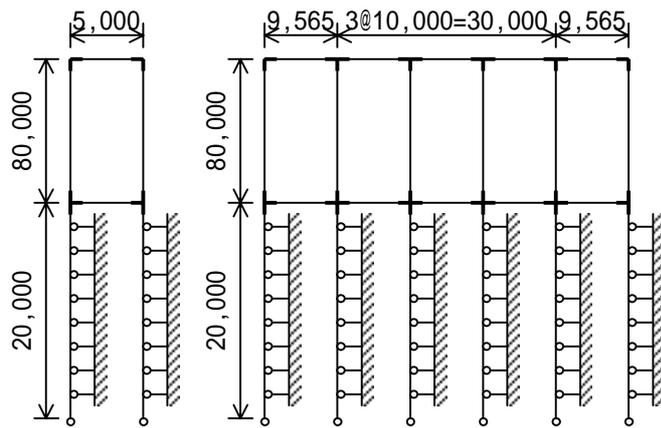


図 - 2 構造モデル（単位：mm）

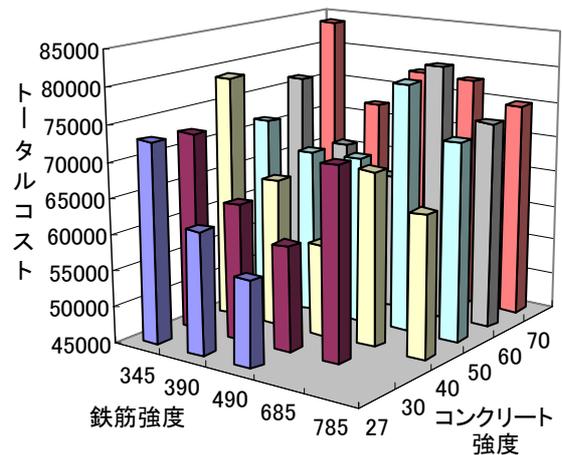


図 - 3 材料強度別目的関数

単位重量当たりのコスト ($=9.1$) [unit/kN], W_{sp} は杭の鉄筋重量 ($=V_s \cdot G_s$) [kN], V_{sp} は杭の鉄筋体積 [m^3] K_p は杭の単位長さ当たりのコスト [unit/L] で表 - 4 に示す L は杭長 [m] K_{cp} は杭施工時における呼び強度 $27N/mm^2$ のコンクリート単位容積当たりのコスト ($=7.5$) [unit/ m^3], K_{sp} は杭施工時における SD345 の鉄筋単位重量当たりのコスト ($=4.9$) [unit/kN] である。

つぎに、地震動による損傷の補修に要する費用（以下、補修費用）について説明する。鉄道標準では、部材の損傷レベルを、損傷に伴う補修の復旧性を考慮し、部材の特性に応じて定めるものとしている。本研究では、前述したように、部材の損傷レベルを骨格曲線の状態によって評価する。算定した部材の損傷レベルと部材特性を考慮し、部材が損傷を受ける前の状態に戻すのに必要となる費用を各部材の補修費用とした。補修費用の算定方法については、参考文献に依りたい⁴⁾。

5. 最適設計問題の定式化 本研究では、筆者らが提案する最適耐震設計システム²⁾⁴⁾を用いて設計を行っている。目的関数は、復旧性を考慮するため初期建設費用と、補修費用の和からなるトータルコストの最小化とした。ここで、補修費用は、L2 地震動スペクトルによる補修費用のうちどちらか大きい方をトータルコストに加える事とした。設計変数は、断面幅、断面高さ、鉄筋本数、鉄筋段数、せん断補強鉄筋組数、せん断補強鉄筋径、せん断補強鉄筋配置間隔とした。制約条件は、耐震性能の照査、部材の損傷レベルの照査、せん断破壊に対する照査を行っている。

6. 数値計算結果および考察 本研究で対象とした構造物は、図 - 2 に示すような 1 層 5 径間の鉄道 RC ラーメン高架橋である。図の左が橋軸直角方向、右が橋軸方向のモデルである。最適化の対象とした部材は、柱、地中梁、杭部材とした。図 - 3 に杭長 20m, G3 地盤を対象とした計算結果を示す。図の縦軸がトータルコスト、横軸の右がコンクリート強度、左が鉄筋強度を示している。最も目的関数が小さくなる材料の組み合わせは、コンクリート強度が $27N/mm^2$ 、鉄筋強度が $490N/mm^2$ の組み合わせで、従来の材料を用いた設計に比べ約 20%程度目的関数が小さくなった。材料強度を上げる事で、使用する材料を減らし、目的関数を小さくする事が可能であることを示している。一般的に、コンクリート強度を上げる事よりも鉄筋強度を上げる方が、コスト的に優位な設計が可能であると考えられているが、同様な結果が得られたと考えられる。

7. まとめ 性能照査型設計体系への以降を想定し、より広い設計空間から良質な設計解を経るための一試みとして、使用材料に着目し検討を行った。その結果、従来の材料を用いる設計より、強度の高い材料を用いることで、良質な設計を行う事が可能である事が明らかとなった。

参考文献 1)土木学会：コンクリート標準示方書 [耐震性能照査編]、丸善、2002。 2)杉本・亀海・渡邊：高強度材料を用いる RC 構造物の最適耐震設計について、第 7 回地震時保有耐力法に基づく橋梁等構造の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集、2004。 3)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。 4)渡邊・杉本・朝日：補修費用を考慮した耐震設計に関する一考察、土木学会論文集 No. 718/V-57、2002。