

高強度鉄筋（SD685）を用いたRCラーメン高架橋の地震時応答解析検討（その2）

○（株）復建エンジニアリング 正会員 ウォン イエンスイ
（株）復建エンジニアリング 正会員 井口 光雄

1. 概要

本検討は、2層1径間のRCラーメン高架橋に着目して高強度鉄筋（SD685）と普通鉄筋（SD345・SD390）を用いた場合について、施工性及び経済性の観点から比較検討を行ったものである。前回の報告では、高強度鉄筋（SD685）を使用することで、普通鉄筋の使用に比べて、構造物全体が約5割の鉄筋量（主鉄筋・横拘束鉄筋）の減少が可能であり、接合部における配筋の簡略化が期待できることを検証した。しかし、その反面構造物の剛性が低くなり、等価固有周期が伸び、変位も大きくなっている傾向にある。

そこで、本検討は、L1地震時における列車の走行性に対する検討を行い、高強度鉄筋使用の適用性について検証した。

2. 検討概要

（1）構造物概要

本検討に用いた構造物モデルは図-1、図-2に示すような断面を持つ、1径間の地中梁を有する左右対称の2層RCラーメン高架橋である。基礎は杭径が1.2mの場所打ち杭を橋軸直角方向に2本配置されている。また、表層地盤の地盤種別はG3地盤である。本構造物は構造系が比較的単純で1次振動モードが卓越し、主たる塑性ヒンジの発生箇所が明確であるため、非線形スペクトル法（ブッシュオーバー解析）により解析を行った。

（2）解析モデル概要

解析モデルは2次元骨組モデルとした。また、杭基礎であることから、骨組モデルは地盤－基礎－構造系一体としてモデル化した。

非線形特性として上層縦梁、杭部材はトリリニヤ型のM- ϕ 関係を用いてモデル化し、杭部材には軸力変動を考慮した。また、上層横梁、地中梁、柱部材はM- θ 関係でモデル化し、柱部材には軸力変動を考慮した。一方、地盤は杭先端鉛直ばね、杭周面せん断ばね、杭周面水平ばねについてモデル化し、非線形特性として地盤の支持力及び有効抵抗土圧を上限値としたバイリニア型とした。

（3）列車走行安全性の検討

列車走行安全性に対する検討は、鉄道設計標準（耐震設計編）に準拠し、線路方向の鉛直変位、直角方向の水平変位および振動変位に対して検討を行う。

（i）折れ角の検討

検討対象構造物の地盤はG3地盤であるため、地盤の変位を考慮せず、図-3に示すような水平方向の慣性力に伴う折れ角に対する検討を行う。対象構造物はゲルバー桁とラーメン高架橋が一体で挙動するため、目違いは生じないものと考えられる。また、折れ角については、鉛直変位および水平変位に伴う平行移動の折れ角が生じるものと予想される。

（ii）振動変位に対する検討

振動変位は、地盤種別によるスペクトル強度S_Iと構造物の等価固有周期のノモグラムを用いて、静的非線形解析で得られた等価固有周期により安全性の検討を行う。これは、車輪がレール上に乗り上がり線路直角方向に70mmの水平相対変位を生じる場合を限界とする車両振動シミュレーションの結果をもとに定めたものである。

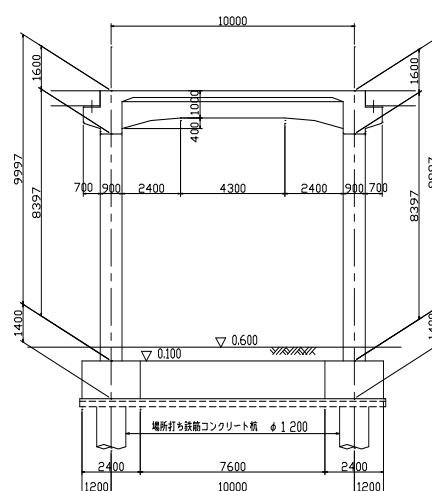


図-1 構造物縦断面図

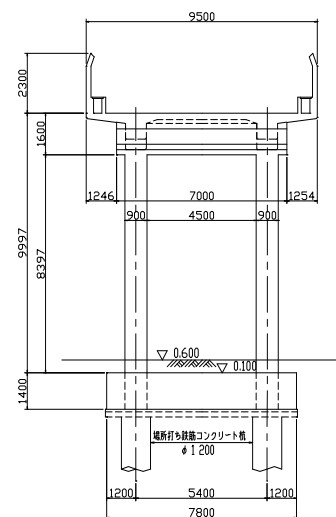


図-2 構造物横断面図

キーワード：高強度鉄筋、非線形スペクトル法、列車走行安全性

連絡先：東京都中央区日本橋堀留町1-11-12 TK 堀留ビル (株)復建エンジニアリング第2技術部 TEL:03-5652-8563 FAX:03-3660-9374

3. 検討結果

(1) 折れ角

線路方向および線路直角方向の慣性力によって生じる軌道面の折れ角の制限値を表-1に示す。折れ角の制限値は列車の走行速度により決定され、本検討の場合において、列車の最大走行速度は110km/hであるため、線路方向（鉛直）および線路直角方向（水平）の制限値がそれぞれ36.85（1/1000）、15.00（1/1000）となっている。一方、ラーメン高架橋端部と調整桁の間に生じる折れ角は、静的非線形解析によりL1地震（ $kh=0.36$ ）時の鉛直・水平変位を算定し、それぞれ調整桁の桁長（ $L=8.0m$ ）で割って求められる。なお、本検討において、隣接する高架橋の形式・高さ・支持地盤の強さなどの条件がほぼ同じであることから、高架橋間の位相差が小さく、折れ角の発生量は小さいものと考えられる。よって、高架橋のみで変位が生じるものと仮定した。

検討の結果を表-2に示す。線路方向については、L1地震時に生じる折れ角が1.599（1/1000）となっており制限値を満足しているものの、線路直角方向については、折れ角の応答値が18.831（1/1000）であり、制限値よりも約3割超過した結果となっている。

(2) 振動変位

振動変位の検討に用いる等価固有周期は、L2地震動に対する検討で得られた等価固有周期を用いる。検討は線路直角方向について行った。

L2地震動に対する検討で得られた構造物の等価固有周期は表-3に、L1地震動によるスペクトル強度を図-4に示す。検討構造物の地盤（G3）および等価固有周期（1.213s）を図-4に当てはめると、スペクトル強度 S_I が3600~3700mmとなり、在来線の限界スペクトル強度 S_{IL} 以内に収まり、振動変位に対して安全側にあることが確認できた。

4. まとめ

- (1) 本検討構造物は高さが比較的高く、剛性も元々高くない2層1径間のラーメン高架橋である。高強度鉄筋（SD685）を使用することにより、鉄筋量（本数・径）を大幅に減らすことが可能であるものの、構造物の剛性低下が著しく生じている。そのため、構造物の変位が大きくなり、L1地震時において水平方向（線路直角方向）の折れ角が制限値を超え、列車走行安全性に対して満足できない結果となった。
- (2) ラーメン高架橋始終点側の調整桁の桁長が10m以上のものであれば、水平方向に生じる折れ角（ $149/10000=14.9/1000$ ）が制限値以内に収まり、高強度鉄筋の適用が可能であると考えられる。

今後、橋軸直角方向の剛性が高い壁式橋脚について、高強度鉄筋への適用性を検討したい。

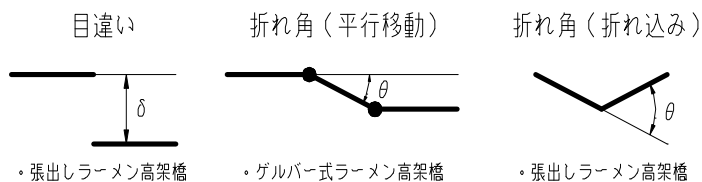


図-3 目違い・折れ角について

表-1 折れ角（平行移動）の制限値

変位方向	平行移動折れ角 θ の制限値算定式	列車速度 V(km/h)	平行移動折れ角 θ (1/1000)
鉛直	$10 \cdot (300/V)^{1.3}$	110	36.85
水平	$5.5 \cdot (300/V)$	110	15.00

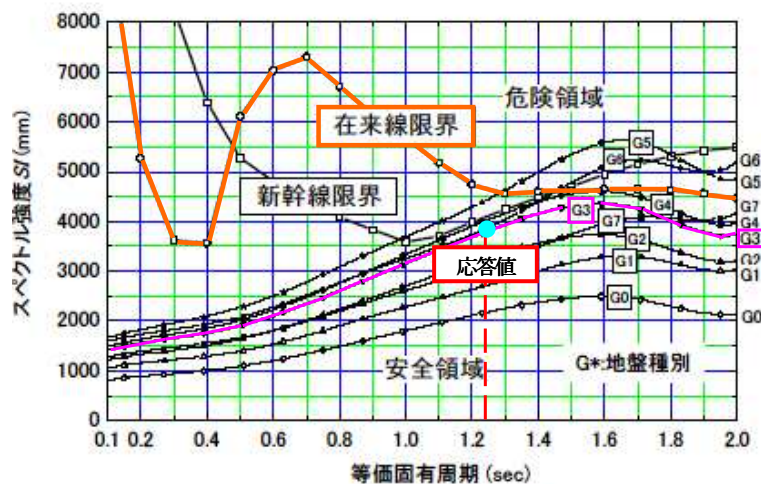
表-2 折れ角に対する照査

支持地盤の強

検討方向	鉛直変位 δ_n (mm)	水平変位 δ_h (mm)	θ_d (rad)	折れ角に対する照査
線路方向	13.0	—	1.629/1000	1.629 / 36.85 < 1.0
線路直角方向	—	149.0	18.672/1000	18.672 / 15.00 > 1.0

表-3 構造物の等価固有周期

検討方向	等価固有周期(sec)
線路直角方向	1.213



L1設計地震動によるスペクトル強度(地盤種別および構造物の等価固有周期に対応)

図-4 L1地震動によるスペクトル強度 S_I