報告 曲げせん断を受ける低せん断スパン RC 部材の交番ねじり試験

西 恭彦^{*1}·生馬 道紹^{*2}·服部 尚道^{*3}·谷村 幸裕^{*4}

要旨:低せん断スパンの横地中梁張出部に曲げせん断とねじりが同時に作用するラーメン高 架橋について,三次元骨組み解析による試設計と三次元 FEM 解析を実施し,これに基づく 縮小模型を用いた交番ねじり試験を行った。試験の結果,横地中梁張出部は,杭の曲げ最大 耐力時に相当するねじりモーメントが作用しても最大荷重を維持したことから,構造物の耐 震設計上要求されるねじり耐力を有することを確認したが,横地中梁張出部の軸方向鉄筋や 縦地中梁の端部補強鉄筋の一部が降伏した。

キーワード:ねじり,載荷試験,ラーメン高架橋,地中梁

1. はじめに

鉄道の高架橋構造物では、ビームスラブ形式 のRCラーメン高架橋を多く用いている。杭基礎 で2柱形式のRCラーメン高架橋は、1柱1杭形 式として柱の位置に揃えて杭を配置し、橋軸方 向、橋軸直角方向に縦、横の地中梁を設けるの が一般的である(図-1)。このような従来形式 のRCラーメン高架橋の橋軸直角方向に、地震時 水平力が作用すると、軌道面の変位が大きくな る傾向にあり、地震時の列車走行安全性¹⁾を確保 する設計が困難になることがある。そこで、1柱 1 杭形式のラーメン高架橋の列車走行安全性を 改善する方法として、図-2に示すように柱の橋 軸直角方向外側に横地中梁を張出して杭を配置 し、橋軸直角方向の水平力を受けたときの変位 を小さくする方法を考案した。

横地中梁を張出した図-2のラーメン高架橋 は,橋軸方向の慣性力に対して,柱-横地中梁 張出部-杭の順に断面力を伝達して抵抗する。 この時,図-1の従来形式のラーメン高架橋とは 異なり,柱と杭との間で低せん断スパンの横地 中梁張出部に曲げせん断とねじりが同時に作用 する。構造物全体系が崩壊しないためには,こ の横地中梁張出部が最大応答時までねじり破壊 をしないことが要求される。しかし,破壊に対 する安全性の照査で通常用いるねじり耐力は, 立体トラス理論に基づく²⁾もので,この横地中梁



横断面図 基礎平面図図-2 列車走行安全性を改善したラーメン高架橋

*1 鉄道建設・運輸施設整備支援機構 鉄道建設本部設計技術部設計技術第一課 工修 (正会員)
*2 鉄道建設・運輸施設整備支援機構 鉄道建設本部設計技術部設計技術第一課長 (正会員)
*3 東急建設(株) 技術本部土木設計部土木設計第二グループ 工修 (正会員)
*4 (財)鉄道総合技術研究所 構造物技術研究部コンクリート構造研究室長 工博 (正会員)

張出部のような低せん断スパン部材への適用性 は明らかではない。

今回行った検討では,3径間ラーメン高架橋の 試設計とFEM解析により横地中梁張出部付近の 断面力,応力の状態を把握したうえで,柱,縦・ 横地中梁および杭を模擬した試験体を製作して 横地中梁の交番ねじり試験を実施した。

2. 試設計と FEM 解析

2.1 試設計

試設計は次のような条件で寸法,配筋を設定 し,横地中梁を張出した3径間ラーメン高架橋 の三次元骨組み構造解析を行った。

- (1) 新幹線構造物の実績を参考に、スラブ上面から柱下端までの高さ7mとし、柱の芯間隔は橋軸方向10m、橋軸直角方向5.4mとする。
- (2) 柱と杭との位置関係は,柱の外側面と杭の周 面が接する位置とする。
- (3) 横地中梁張出部は, 杭頭部の主鉄筋の定着に 必要な寸法とし, 橋軸直角方向の曲げ, せん 断に対して必要な配筋とする。

試設計にもとづいて算定した杭と横地中梁張 出部の諸元と部材耐力を表-1に示す。横地中梁 張出部に生じるねじりは杭頭部の曲げと釣り合 う。よって、横地中梁張出部は、ねじり耐力が 杭の曲げ耐力より大きければ、ねじり破壊しな いと考えられる。ねじり耐力は、柱と地中梁に よる格点部を固定端とする片持ち梁と仮定して 算定したが、ねじりを考慮せずに設計したため、 杭の曲げ耐力より小さくなっている。

2.2 FEM 解析

FEM 解析は, 図-3 に示す横地中梁張出部周 辺および杭全長をモデル化した。杭は地盤バネ で支持し, 杭の下部は梁要素とした。材料特性 は, コンクリートは断塑性, 鉄筋, 地盤バネは 非線形バイリニアとした。荷重は, 試設計で橋 軸方向水平力を作用させた最大応答時の断面力 を, 部材断面の全要素と剛結合した仮想接点に 静的に載荷した。

横地中梁張出部付根で生じているコンクリー

トの主応力を図-4に示す。杭,柱の曲げの圧縮 側を結ぶように圧縮域が形成されている。横地 中梁張出部を杭の周面が柱の外側面と接するよ うな配置としたため,杭に作用するモーメント は,横地中梁のねじりを介することなく直接的 に柱と地中梁で構成される格点部に伝達されて いると考えられる。

表-2に横地中梁の鉄筋に生じた応力を示す。 スターラップと腹部用心鉄筋(軸方向側面鉄筋) に大きな応力が発生するが,降伏には至らない。

表-1 各部材の試設計結果

(a) 杭						
コンクリート圧縮強度	(N/mm^2)	24				
鉄筋		SD390				
径	(mm)	1100				
主鉄筋		24-D32				
帯鉄筋		D22ctc75-1 組				
曲げ耐力 M _u	(kNm)	3699				

(b) 横地中梁張出部					
コンクリート圧縮強度	(N/mm^2)	24			
鉄筋		SD390			
幅×高さ	(mm)	1600×1400			
上縁軸方向鉄筋		16-D32			
(柱側)		10-D32			
下縁軸方向鉄筋		2-D32			
(杭側)		16-D32			
スターラップ		D19ctc150-3組			
ねじり耐力 M _{tud} ²⁾	(1)	2(02			
曲げと同時	(KINM)	2692			
ねじり耐力 M _{tud} ²⁾	(1-N)	15(9			
せん断と同時	(KINM)	1368			



-698-

FEM 解析結果から、杭から載荷されるモーメ ントに対して横地中梁張出部が抵抗する機構は, 通常のねじり耐力で想定されているものと異な ると考えられる。そこで, 横地中梁張出部の交 番ねじり試験を行うことにより,構造物の耐震 性能において必要なねじり耐力を横地中梁張出 部が有していることを確認する。



図-4 コンクリートの応力(端部モデル)

(N)

軸力載荷方向

(-) 水平力載荷方向(+)

(S)

D16@70 (SD390 8-D29(SD390) 14-D19 (SD390)

13-D10 (SD390

37-D10(S

3. 交番ねじり試験

3.1 試験体の設計

交番ねじり試験の試験体は、3径間ラーメン高 架橋の試設計を1/2に縮小して,柱,横地中梁お よび杭の接合部の周辺を取出したモデルとした。 横地中梁張出部に曲げせん断とねじりが作用し たときの破壊性状を確認することから、柱間の 横地中梁は省略した。試験体数は合計2体とし, 1 体は接合部の両側に縦地中梁が配置される中 間部試験体,もう1体は接合部の片側のみに縦 地中梁が配置される端部試験体とした。

杭の曲げによって横地中梁に導入されるねじ りは、杭の曲げ耐力時に最大となると考えられ るため、柱および縦地中梁をフーチングに固定 し、杭に水平力を載荷するようにモデル化した。 試験体の形状,配筋を図-5に,諸元を表-3に 示す。

表-2 横地中梁鉄筋の応力

種類		中間部	端部	
	上縁	128	130	
軸方向鉄筋	下縁	176	179	
	側面	239	265	
スターラッ	プ	206	273	
上禄一)		単位(N/	mm^2) SD390	

側面-



下縁→



(a) 中間部試験体

図-5 試験体配筋図

封驗休	柞	È	横地中梁		<u>л</u>	縦地中梁		杭		
	幅	高	围	高	長さ	围	高	長さ	径	せん断スパン
(110.)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
中間部(No.1)	450	250	800	700	2450	850	700	2500	550	1200
端部(No.2)	450	250	800	700	2450	850	700	1750	550	1200

表-3 試験体諸元

表--4 鉄筋材料試験値

		降伏	降伏	ヤング
No.*	種類	応力度	ひずみ	係数
		(N/mm ²)	(μ)	(kN/mm ²)
1	D10	435	2370	184
2	D16	469	2407	195
3	D25	413	2144	192
4	D29	427	2185	195

*) No.1:横地中梁腹部軸方向鉄筋 No.2:横地中梁スターラップ No.3:横地中梁下縁側軸方向鉄筋(杭側) No.4:横地中梁上縁側軸方向鉄筋(柱側)

表-5 試験体の各部材計算値

(a) 杭						
	単位	中間部	端部			
コンクリート圧縮強度	(N/mm^2)	39.9	43.7			
曲げ耐力 M _u ²⁾	(kNm)	504	517			

	単位	中間部	端部
コンクリート圧縮強度	(N/mm^2)	28	30
ねじり耐力 M _{tud} ²⁾	(l.N.m.)	401	409
曲げと同時	(KINM)	481	498
ねじり耐力 M _{tud} ²⁾	(IrNim)	220	257
せん断と同時	(KINIII)	338	337

(b) 横地中梁張出部

横地中梁張出部にねじりが作用すると,縦横 地中梁交差部で横地中梁主鉄筋の外側に配置さ れた縦地中梁の主鉄筋に引張りが作用すること が予想される。端部試験体では,横地中梁が縦 地中梁主鉄筋定着部付近に配置されるため,主 鉄筋の定着部が損傷するおそれがある。それを 防ぐために,縦地中梁端部にはコの字型の端部 補強筋を水平に配置し,縦地中梁の腹部用心鉄 筋と横地中梁中心で40φ重ねあわせた。



図-6 載荷装置(端部試験体)

地中梁に用いたコンクリートは,W/C=74.4%, s/a=50.4%,SL=18cm,Gmax=15mmである。表 -4 に試験体の横地中梁に用いた鉄筋の材料試 験値を,表-5に杭と横地中梁のコンクリートの 材料試験値と耐力計算値を示す。横地中梁張出 部のねじり耐力は,柱と地中梁からなる格点部 を固定端と仮定して算出した。試設計と同様に, 杭の曲げ耐力より横地中梁張出部のねじり耐力 が小さくなっている。

3.2 載荷方法

載荷は図-6 に示す載荷装置を用いて行った。 地中梁の曲げせん断力は杭に作用させる鉛直力 により,ねじりモーメントは杭に作用させる鉛 可した。杭に載荷する鉛直力は, 杭付根部の軸圧縮応力が試設計と同等の 4.0N/mm²になるよう設定した。杭の水平力の載 荷高さは,杭付根部のせん断スパン a と有効高 さ d の比が試設計と同等になるように杭長を決 定し,杭基部から 1.2m とした。

載荷工程は,はじめに杭に鉛直力を載荷し, その鉛直力を保持した状態で水平力を載荷した。 水平力の制御は,横地中梁の図芯位置をねじり 回転中心と仮定した部材角を用いて行い,正負 交番繰返し載荷を行った。

3.3 載荷試験の結果および考察

(1) 荷重変位関係

図-7に荷重-変位関係を示す。ここに示す荷 重は換算水平荷重で,鉛直荷重による付加曲げ の影響を水平荷重に換算して加えたものである。 いずれの試験体でも杭の主鉄筋は部材角 *R*=1/100で降伏した。図-8に杭部材の荷重-変 位包絡線と材料試験結果による杭の設計値を示 す。杭は最大耐力に相当する荷重,変位を越え ても変形性能を保持しており,杭を定着する横 地中梁張出部がねじりによって大きな損傷を受 けていない。このことから,横地中梁張出部は 耐震設計上要求されるねじり耐力を持っている といえる。

(2) 鉄筋のひずみ

中間部試験体は R=1/25 で横地中梁付根部の上 縁側(杭側)鉄筋(図-9)が降伏し,端部試験 体は, R=-1/33 (図-10)で横地中梁付根部の 腹部軸方向鉄筋, R=1/25 で横地中梁付根部の上 縁側(杭側)鉄筋(図-11), R=-1/15 で横地中 梁付根部の下側(柱側)軸方向鉄筋(図-12) が降伏している。一方でいずれの試験体も横地 中梁のスターラップは降伏していない。せん断 スパンが小さいため,横方向鉄筋によるねじり の分担が小さかったものと考えられる。

また,端部試験体の縦地中梁の端部補強筋(図 −13)は *R*=−1/50 で降伏した。ねじりを受ける 部材を定着する部材にも、想定される荷重や変 形に応じた補強が必要である。

(3) 破壊の状況

図-14 に載荷終了時のひび割れ図を示す。杭 基部のかぶりが剥落しているのに対して、横地 中梁の損傷はひび割れや部分的な圧壊にとどま っている。





(b) 端部試験体

図-7 試験体の荷重-変位関係



4. まとめ

本検討により、次のことが明らかになった。

- (1) 柱の橋軸直角方向外側の横地中梁張出部に 杭を配置した1柱1杭形式のRCラーメン高 架橋に線路方向の水平力が作用すると、低せ ん断スパンの横地中梁張出部に曲げせん断 とねじりが同時に作用する。縮小模型を用い て交番ねじり試験を行うことにより、杭が曲 げ耐力にいたるまで、張出部は計算上のねじ り耐力を超えるねじりが作用しても、ねじり 破壊せず、耐震設計上要求されるねじり耐力 を持っていることがわかった。
- (2) 曲げせん断とねじりを受ける横地中梁張出 部のスターラップは降伏しなかったが、軸方 向筋が降伏した。横地中梁張出部のせん断ス

パンが小さかったため、横方向鉄筋がねじり を受持たなかったものと考えられる。

(3) 横地中梁と接続する縦地中梁の端部補強筋 が降伏した。ねじりを受ける部材を定着して いる部材にも、補強を検討する必要がある。

参考文献

- 鉄道総合技術研究所編:鉄道構造物等設計 標準・同解説 変位制限,丸善,2006.2
- 2) 鉄道総合技術研究所編:鉄道構造物等設計 標準・同解説 コンクリート構造,丸善, 2004.4
- 鉄道総合技術研究所編:鉄道構造物等設計 標準・同解説 耐震設計,丸善,1999.10



図-14 最終ひび割れ図(端部試験体)