

論文 中間に弾性支承を用いた重ね梁の破壊挙動に関する実験的研究

小林 薫*1・森山 智明*2・竹市 八重子*3

要旨：都市部では、鉄道の高架下を店舗や事務所等で利用している場合が多い。このような箇所では、列車走行時に伴う高架下の騒音や振動をできるだけ低く抑え、高架下環境を良好な状態にすることが望まれている。

列車走行時の振動、騒音を低減させ、建設費のコストダウンを図る方法として、低振動型の軌道構造の採用とともに高架橋縦梁が軌道構造部分と共同して載荷荷重を受ける構造が望ましい。

本研究は、軌道支持桁と高架橋縦梁の間に弾性支承を有し、両梁が共同で上載荷重に抵抗する構造の基礎的な耐荷挙動について、実験的な検討を行ったものである。

キーワード：耐荷挙動，曲げ破壊，弾性支持機構

1. はじめに

都市部では、鉄道の高架下を店舗や事務所等で用いている場合が多い。このような箇所では、列車走行時に伴う高架下の騒音や振動をできるだけ低く抑え、高架下環境を良好な状態にすることが望まれている。

列車走行時の振動、騒音を低減させる方法としては、低振動型の軌道構造¹⁾を用いる方法がある。しかしながら、このような軌道構造の採用は、工事費の増加を招くことが懸念される。

一方、鉄道高架橋の構造形式としては、ビームスラブ形式のラーメン構造が多く用いられている。この構造形式におけるスラブや梁の存在は、列車荷重を支持することが基本的な機能となっている。低騒音の軌道構造とラーメン高架橋の縦梁やスラブの一部とが共同して列車荷重を支持できれば、より構造の簡素化につながり、工事費の低減に寄与するものと思われる。

本研究は、列車走行時の高架下環境の改善を意図して、弾性支承を有した軌道を支持する桁とラーメン構造縦梁とが共同して列車荷重を支持する構造に関して、その基本的耐荷挙動を把握する目的で、実験的な検討を行ったものであ

る。

2. 実験概要

(1) 試験体概要

図-1に、試験体の一般形状を示す。表-1に、試験体諸元を示す。Case-0は、基本試験体で、ラーメン縦梁とスラブを意識してT型梁の断面形状とした。Case-1～Case-3試験体は、重ね梁形状の試験体である。各試験体とも軌道用の桁をイメージした上側の梁（以下「上梁」という）、ラーメン縦梁をイメージした下側の梁（以下「下梁」という）の構造は共通とした。弾性支承は、上梁と下梁の間に配置した。試験体のパラメータとしては、弾性支承の配置状態である。

Case-1試験体は、弾性支承を梁の全長に渡って配置したものである。Case-2試験体は、弾性支承をスパン中央、両支点位置に配置したものである。Case-3試験体は、弾性支承をCase-1試験体とCase-2試験体の中間的な配置となることを意識して設定したもので、スパンを概ね8等分とした9箇所に配置したものである。

Case-1～Case-3試験体は、載荷直前に下梁

*1 東日本旅客鉄道（株）研究開発センターフロンティアサービス研究所副課長 博(工) (正会員)

*2 東日本旅客鉄道（株）研究開発センターフロンティアサービス研究所 主席 工修 (正会員)

*3 東日本旅客鉄道（株）研究開発センターフロンティアサービス研究所 課 員 工修 (正会員)

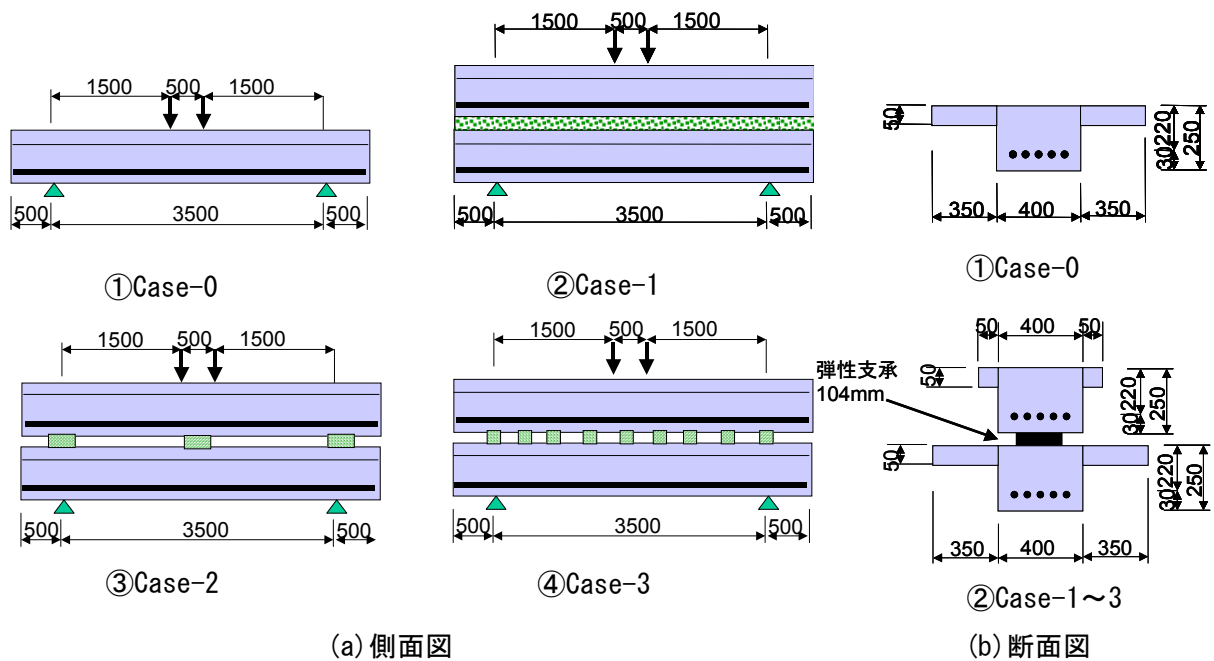


図-1 試験体一般形状図

表-1 試験体諸元表

試験体No	断面寸法				引張鉄筋			コンクリート強度	鉄筋降伏強度	弾性支承形状				
	b1(mm)	t(mm)	b2(mm)	h(mm)	径	材質	本数	f'_{ck} (N/mm^2)	f_{sy} (N/mm^2)	幅 b(mm)	長さ L(mm)	厚さ t(mm)	使用 個数	
Case-0	1100	50	400	250	D16	SD345	5	41.8	360.5					
Case-1	上梁	500	50	400	250	D16	SD345	5	40.2	360.5	200	4500	104	1
	下梁	1100	50	400	250	D16	SD345	5	33.9	360.5				
Case-2	上梁	500	50	400	250	D16	SD345	5	40.1	360.5	200	200	104	3
	下梁	1100	50	400	250	D16	SD345	5	33.3	360.5				
Case-3	上梁	500	50	400	250	D16	SD345	5	31.3	360.5	200	100	104	9
	下梁	1100	50	400	250	D16	SD345	5	53.3	360.5				

※) b1: 上フランジ幅, t: 上フランジ高さ, b2: ウェブ幅, h: 断面高さ

を載荷位置にセットしたあと、弾性支承を下梁上面の所定位置に置き、上梁をセットした。上梁と下梁の間に配置する弾性支承は、下梁上面に単に置くだけで、接着剤等は用いていない。ただし、上梁を重ねた際、弾性支承との間に空隙が生じている場合は、下梁上面にセメントを盛り上げて弾性支承の高さ調整を行った。

Case-1~Case-3 試験体に用いた弾性支承は、通常の橋梁に用いているゴムシユを用いた。本来ならば、高架下の低騒音化、低振動化から定まるバネ定数を有するゴムシユを用いる必要がある。本研究が、このような構造の基礎的実験であることを考えて市販の製品のゴムシユで厚さ 16mm 3層のものを2段重ねたものを用いることにした。



写真-1 実験状況

(2) 実験概要

写真-1 に、実験状況を示す。試験体への荷重の載荷は、2点集中載荷として行った。荷重の載荷ステップは、2本の梁のどちらかに最初

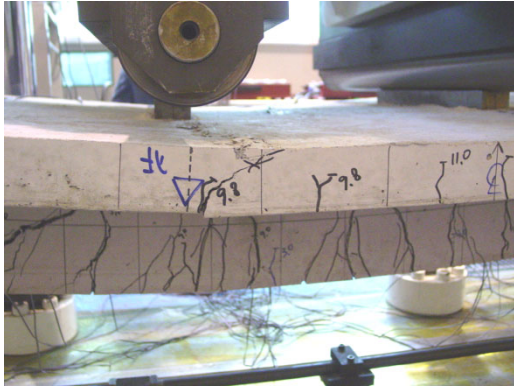


写真-2 Case-0 試験体破壊状況

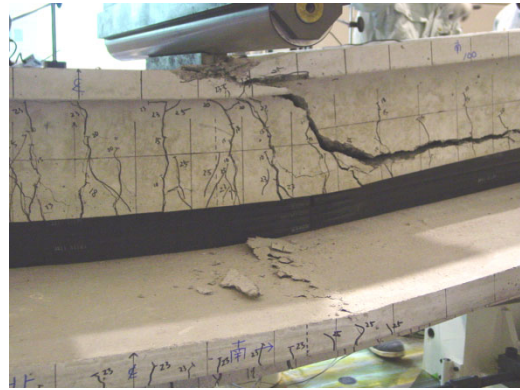


写真-3 Case-1 試験体破壊状況

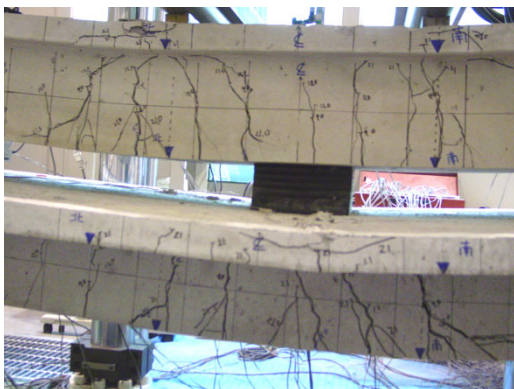


写真-4 Case-2 試験体破壊状況

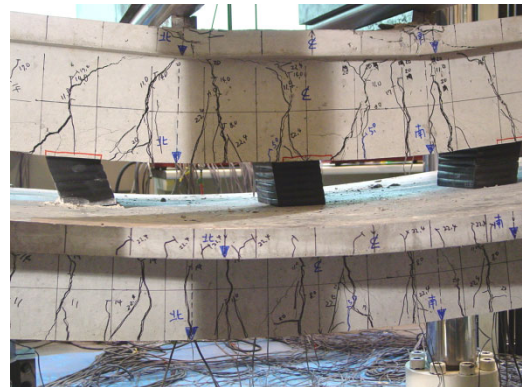


写真-5 Case-3 試験体弾性支承変形状況

の曲げひび割れの発生が確認されたあと、一旦除荷した。次に、再度荷重載荷を行い、最大荷重を超え徐々に荷重が低下し、試験体に発生する損傷状態が顕著となり、破壊形態が判定できるまで連続的に荷重した。

実験中における試験体の計測内容としては、上側の梁、下側の梁のたわみ、梁内部に配置されている鉄筋のひずみである。鉄筋のひずみは、鉄筋に貼り付けたひずみゲージにより直接計測を行った。

3. 実験結果および考察

(1) 破壊状況

実験結果として、各試験体の破壊状況を述べる。写真-2～写真-6に、各試験体の破壊状況を示す。

Case-0 試験体は、荷重荷重が 30kN 付近で梁下面に曲げひび割れが発生した。スパン中央のたわみが 13mm、荷重荷重が 90kN 時点で鉄

筋が降伏ひずみに達した。その後、たわみの増加は顕著になるが、荷重の増加はそれほど大きくはなっていない。たわみが 148mm 程度付近で、荷重点位置に圧壊のひび割れが発生し、荷重が急激に低下した（写真-2）。

Case-1 試験体は、荷重荷重 40kN 付近で下梁の中央下面に最初の曲げひび割れが発生した。荷重荷重が 180kN 付近で、下梁軸方向鉄筋が降伏ひずみに達した。荷重荷重が 230kN 付近で、上梁のコンクリート上縁荷重点位置近傍に圧壊の兆候となるようなひび割れの発生が認められた。その後、荷重荷重が 254kN 付近で上梁上縁のコンクリートが顕著な圧壊を示し、荷重荷重が低下した。下梁も梁中央付近の上縁コンクリートが圧壊した。

上梁では、写真-3に示したように、上縁コンクリートの圧壊とともに、発生していた斜めひび割れが上縁部の圧壊発生箇所を突き抜けるのと同時に、もう一方の斜めひび割れ先端が軸方

向鉄筋に沿ったひび割れに進展し、ひび割れ幅も大きくなった。なお、上梁の破壊状況として、このようなひび割れ性状を示したのは、Case-1 試験体だけであった。

Case-2 試験体は、載荷荷重が 60kN 付近で上梁、下梁の下面にほぼ同時に曲げひび割れが発生した。載荷荷重を大きくすると、スパン中央での上梁と下梁のたわみ差が顕著となった。上梁と下梁の間に配置した弾性支承の変形も顕著に見られるようになった。載荷荷重が 190kN 付近で、上梁の軸方向鉄筋が降伏ひずみに達した。この時点で下梁の曲げひび割れは、上フランジの下面位置には到達していなかった。載荷荷重が 215kN 付近で、上梁は荷重載荷点近傍、下梁はスパン中央に配置した弾性支承直下の位置に圧壊のひび割れが発生し、載荷荷重が低下した（写真-4）。

Case-3 試験体は、載荷荷重が 50kN 付近で上梁、下梁の下面でほぼ同時に曲げひび割れが発生した。載荷荷重の増加に伴いスパン中央での上梁と下梁のたわみ差は増加していくものの Case-2 試験体ほど顕著に表れなかった。載荷荷重が 195kN 付近で、下梁の軸方向鉄筋が降伏ひずみに達した。さらに載荷荷重を増加すると、載荷荷重が 224kN 付近で上梁の載荷点近傍に圧壊のひび割れが発見された。この時点で下梁スパン中央付近のひび割れは、上フランジに到達していた。また、弾性支承の変形も顕著になった（写真-5）。載荷荷重が 240kN 付近で、上梁上縁の載荷点間で圧壊が顕著となった。しかし、この時点で下梁スパン中央付近のコンクリート上縁の状態が圧壊の発生を知らせるようなひび割れが確認できず、まだ耐荷性能があるように判断された。このため、さらに載荷を続けることにした。その結果、試験体の変位は微増したものの載荷荷重は大幅に低下した。試験体の状況としては、上梁の載荷点間での圧壊がさらに進行し、載荷

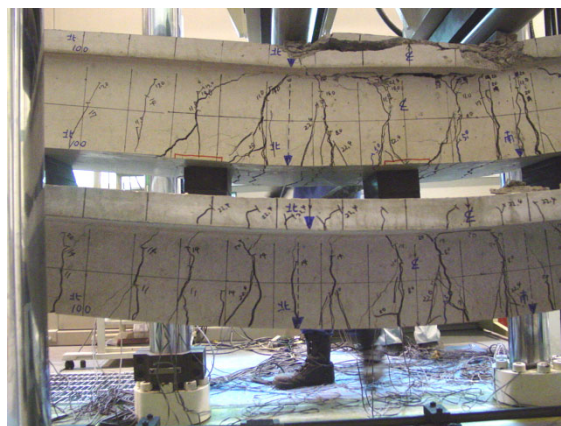


写真-6 Case-3 試験体破壊状況

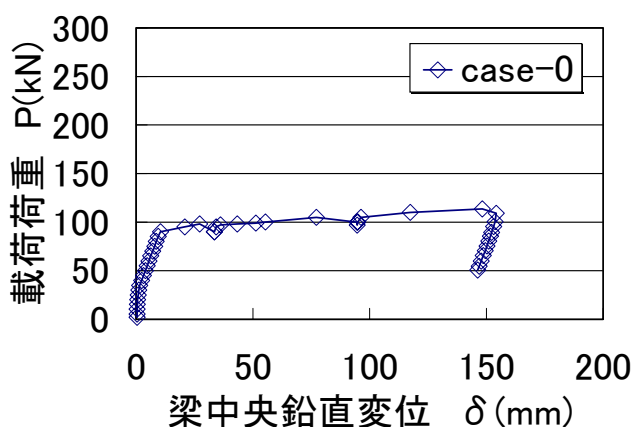


図-2 Case-0 試験体の荷重・変位関係

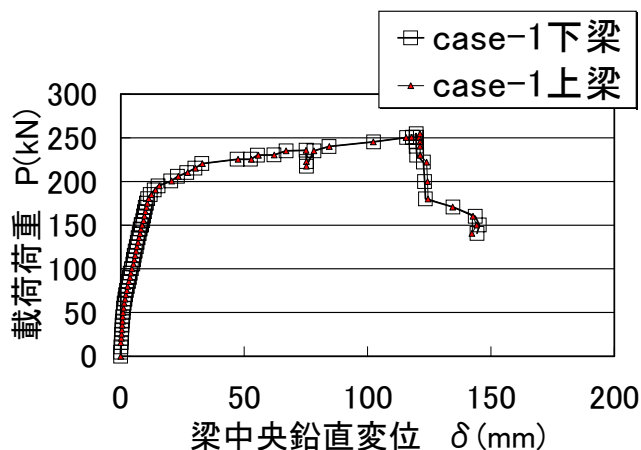


図-3 Case-1 試験体の荷重・変位関係

点間の上縁部コンクリートが完全に浮きながら大きく剥離した。下梁は、スパン中央に圧壊のひび割れが確認されたが、発生領域は小さく上梁に比べると損傷の程度は軽微であった（写真-6）。

(2) 荷重変位関係

図-2～5 に、各試験体の載荷荷重とスパン中央での鉛直変位（たわみ）との関係を示す。なお、各試験体の荷重変位曲線には、上梁と下梁の鉛直変位も示す。

Case-1 試験体は、弾性支承を梁全長に配置した試験体であるが、下梁と上梁の鉛直変位挙動（たわみ）を比較すると、その差はほとんど無く、上下の梁はほぼ一体となって挙動したことがわかる。

Case-2 試験体は、弾性支承をスパン中央、両支点位置に配置した試験体であるが、下梁と上梁の鉛直変位挙動は、Case-1 試験体と顕著な違いが現れている。Case-2 試験体の下梁と上梁では、載荷初期段階から上梁と下梁の鉛直変位差が生じており、最大荷重時では約 10mm 程度になっていた。この鉛直変位差は、弾性支承の変形を意味している。

Case-3 試験体は、弾性支承を Case-1 試験体と Case-2 試験体の中間的な配置となることを意識して設定した試験体である。最大荷重付近での上梁と下梁との鉛直変位差は約 3mm 程度であった。

(3) 弾性支承の配置が最大荷重、最大変位に及ぼす影響

図-6 に、Case-1～Case-3 試験体の載荷荷重と上梁スパン中央の鉛直変位（たわみ）の関係を示す。

重ね梁形式の試験体では、載荷荷重が 170kN 付近までの上梁か下梁のどちらかの軸方向鉄筋が降伏に達しないまでの剛性は Case-1 試験体が Case-2 試験体、Case-3 試験体よりも若干大きくなっていたが、

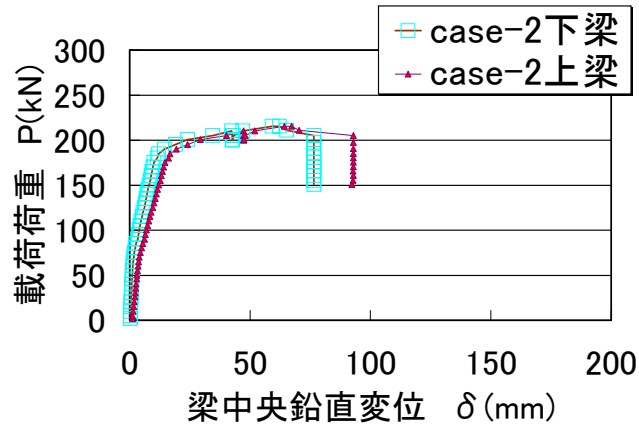


図-4 Case-2 試験体の荷重・変位関係

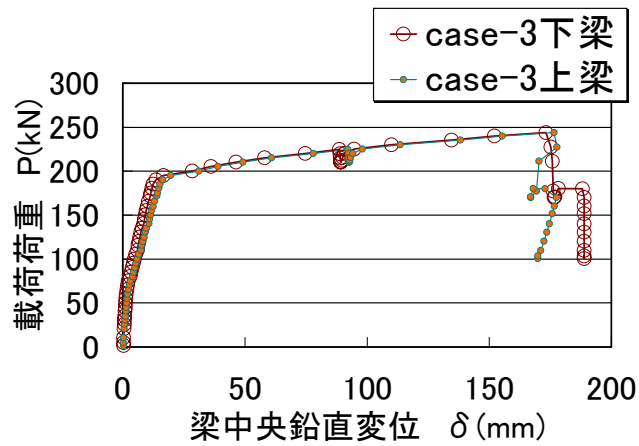


図-5 Case-3 試験体の荷重・変位関係

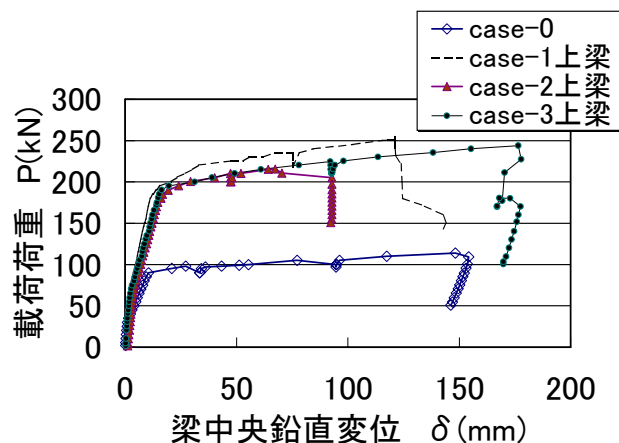


図-6 各試験体の荷重・変位関係の比較

Case-2 試験体と Case-3 試験体では、顕著な違いは見られなかった。

表-2 各試験体の最大荷重と最大鉛直変位量

試験体No	載荷荷重 P(kN)		上梁スパン中央鉛直変位 δ (mm)	
	最大荷重 Pmax(kN)	Case-0試験体 との比率	最大変位 δ max(mm)	Case-0試験体 との比率
Case-0	113.8	1.00	148.3	1.00
Case-1	254.6	2.24	121.3	0.82
Case-2	215.5	1.89	67.3	0.45
Case-3	243.8	2.14	176.5	1.19

載荷荷重が 170kN を超え、軸方向鉄筋が降伏すると載荷荷重の増加は小さくなった。軸方向鉄筋の降伏以降の載荷荷重と鉛直変位の関係で、特に載荷荷重の勾配に着目すると、重ね梁形式の Case-1～Case-3 試験体で顕著な差は見られなかった。表-2 に、各試験体の実験結果を示す。なお、表中の最大変位とは、最大荷重時の上梁のスパン中央における鉛直変位を示す。

基本試験体とした Case-0 よりも最大荷重時の鉛直変位が小さくなったのが、Case-1 試験体と Case-2 試験体である。この理由として、Case-1 試験体では、試験体全長に渡って弾性支承を配置したことによって、上梁の破壊性状が他の重ね梁形式の試験体と相違したことが上げられる。また、Case-2 試験体では、弾性支承の配置をスパン中央と両支点部の 3 箇所だけとしている。このため、下梁の載荷条件は、上梁の載荷点からの荷重はスパン中央の弾性支承に伝達されるため、下梁ではスパン中央の集中荷重として作用することになる。このため下梁の載荷条件が他の 2 体の試験体よりも厳しくなったことが要因として挙げられる。

4. まとめ

本研究は、列車走行時の高架下環境の改善を

意図しながら、弾性支承を有した軌道を支持する桁とラーメン構造縦梁とが共同して列車荷重を支持する構造の基本的耐荷挙動について実験的に検討を行ったものである。

本研究結果を以下にまとめる。

- (1) 弾性支承の配置の違いによって、破壊状況に違いが見られた。弾性支承を梁全長に配置した Case-1 試験体だけ、上梁載荷点位置が圧壊と同時に斜めひび割れが大きくなり、せん断破壊の様相を呈した。
- (2) 弾性支承の配置によって、最大荷重、および最大荷重時の鉛直変位が相違した。
- (3) 軸方向鉄筋が降伏するまでの剛性は、弾性支承の配置の影響を受けるが、軸方向鉄筋降伏以降の荷重・変位関係の勾配は、弾性支承の配置の影響は小さいと思われる。

参考文献

- 1) 涌井 一：ラダーマクラギの開発と線路構造物のシステムチェンジ，コンクリート工学，Vol.36, No.5, pp.8-16,1998.5