開口のある耐震壁を有する鉄道ラーメン高架橋柱の耐震性能と補強効果

東日本旅客鉄道株式会社　正会員　○藤田　健史
東日本旅客鉄道株式会社　正会員　齋藤　祐樹
東日本旅客鉄道株式会社　正会員　大郷　貴之

1．はじめに

鉄道構造物の鉄筋コンクリート（以降 RC とする）ラーメン高架橋では、柱の間に耐震壁が構築されている場合、耐震壁が構築されていないものとは地震時の柱の破壊形態が異なる。本稿では、既存の耐震壁付柱を有する鉄道 RC ラーメン高架橋を模擬した試験体の正負交番載荷試験を実施し、耐震壁の開口部の有無が耐震性能に与える影響及び開口のある耐震壁付柱を部分的に補強した場合の補強効果を確認したので報告する。

2．試験概要

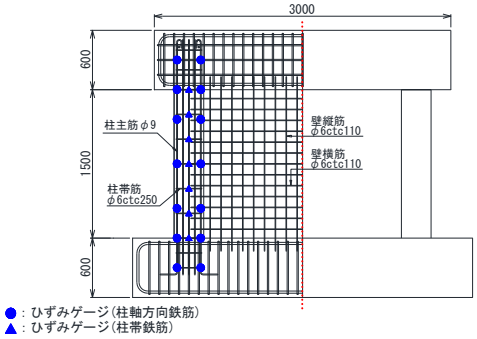
試験体の諸元を表－1 に、試験体の配筋および補強概要図を図－1 及び図－2 に示す。試験の基本方針は以下の通りである。

・補強前の開口のある耐震壁付柱の耐震性能の確認を行う。開口の無い耐震壁付柱との比較のため、耐震壁は、開口のないもの(試験体-1)と中央に開口のあるもの(試験体-2)の 2 ケースを行う。

・柱を一面から補強して耐震性能を増加する補強方法[1)]を、開口のある耐震壁付柱に対し、耐震壁と平行方向の柱面側の半断面のみに適用した場合(試験体-3)の効果を確認する。補強鋼板の寸法は厚さ 16mm×幅 150mm とし、補強鉄筋は 1 段に D16×2 本の異径鉄筋を高さ方向に 14 段設置した。

軸方向圧縮応力度は既設高架橋の軸力を想定し、柱の断面に対して 0.98N/mm^2 で一定とした。正負交番載荷試験における載荷方向は、壁軸に対し平行方向とした。基準水平変位 δ_y は柱部のみを考慮した場合の降伏変位の計算値 6mm とし、以降は δ_y の整数倍の変位毎に変位制御にて繰り返し漸増載荷を行った。載荷時の水平変位は上スタブ中央で計測する水平変位とした。各サイクルにおける正負の繰り返し回数は 3 回とし、試験体-3 は 14 δ_y の 3 回繰り返し後は水平ジャッキ及び計測器の能力で可能な限界の水平変位までの 1 回載荷を行い終了とした。

正面図



断面図

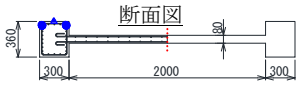
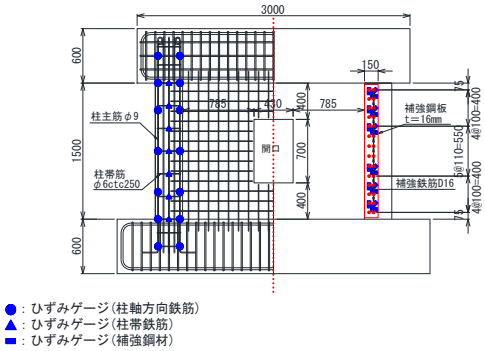


図-1　試験体-1 の配筋図

左/試験体-2・3 の配筋図，右/試験体 3 の補強概要図



試験体 3 の補強部断面図

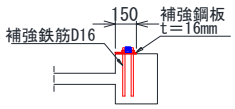


図-２　試験体-2・3 の配筋及び補強概要図

3．試験結果

(1)損傷状況

各試験体の損傷状況を図－3 に示す。いずれの試験体も、水平

表-1　試験体諸元

試験体名称	断面幅 b(mm)	断面高さ h(mm)	せん断スパン比 a/d	柱部材				壁部材					補強部材		
				軸方向鉄筋		帯鉄筋		縦筋		横筋		開口部	補強鉄筋		補強鋼板
				径×本数	引張鉄筋比 p_t(%)	径・間隔 (mm)	帯鉄筋比 p_w(%)	径・間隔 (mm)	鉄筋比 p_s(%)	径・間隔 (mm)	鉄筋比 p_s(%)		径・間隔 (mm)	補強鉄筋比 p_w(%)	厚さ t(mm)
1	360	300	2.78	φ 9×24 (SR235)	0.59	φ 6tc250 (SR235)	0.06	φ 6tc110 (SR235)	0.64	φ 6tc110 (SR235)	0.64	無	—	—	—
2												有	—	—	—
3													D16×2tc110 (SD345)	1.20	t=16mm (SS400)

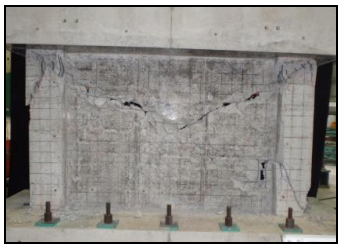
キーワード　耐震壁、開口、耐震補強、静的正負交番載荷試験
連絡先　〒151-8578　東京都渋谷区代々木 2-2-2　東日本旅客鉄道（株）構造技術センター　03-6276-1251

変位1㎜程度までの載荷で壁のせん断ひび割れと柱の曲げひび割れが発生し、その後は変位の増加と共にひび割れ本数が増加し、1δ_yで壁のせん断ひび割れが左右の柱に貫通した。更に載荷を続けると、柱のせん断ひび割れが開口し、試験体-1は3δ_yで右柱の下端、試験体-2は1δ_yで左柱の上端から2段目、試験体-3は3δ_yで右柱上端から3段目の帯鉄筋が降伏ひずみに達した。その後の載荷では、試験体-1及び試験体-2は壁と柱のせん断破壊部分の損傷が大きく進展していった。一方で、試験体-3は、損傷が進むにつれて右側の柱が上から見て反時計回りにねじられるような方向に変形していった (図－5)。また、ひび割れの発生位置と進展方向については、試験体-1では耐震壁の偶角から対角に向けて斜め方向に発生したひび割れが柱の上下端に進展した一方で、試験体-2及び3では開口部の上端高さにおいて水平方向に発生したひび割れが柱の中間部に進展した。

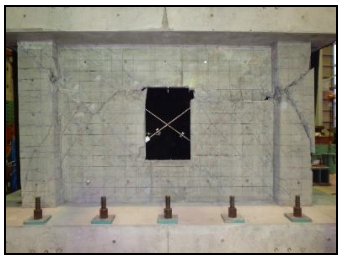
(2)荷重-変位曲線

各試験体の荷重-変位曲線を図－4に示す。いずれの試験体も1δ_yから2δ_yの水平変位で最大荷重を示した。その後は荷重が急降下し、試験体-1は6δ_yで、試験体-2は3δ_yで、試験体-3は9δ_yで柱の降伏荷重を下回った。各試験体の最大荷重の実験値及び理論値を表-2に示す。理論値は，両側柱付壁のせん断終局強度の算定式[2)]をもとにして算出した壁のせん断終局強度Qsuとした。いずれの試験体も、実験値を理論値で除した値は1.4程度であり、大きな差は生じていない。

試験体-1



試験体-2



試験体-3

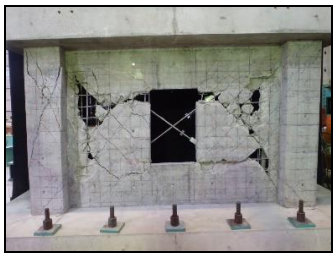
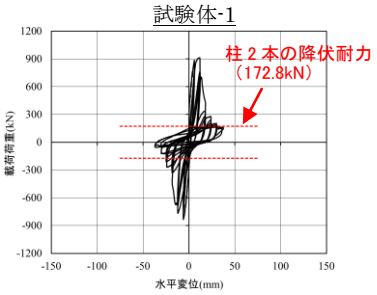
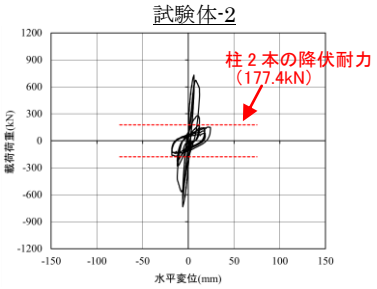


図-3　損傷写真

試験体-1



試験体-2



試験体-3

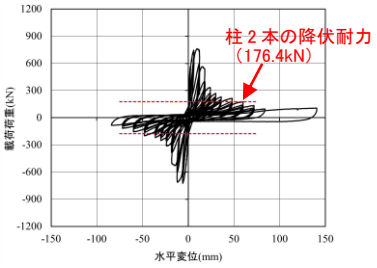


図-4　荷重-変位曲線

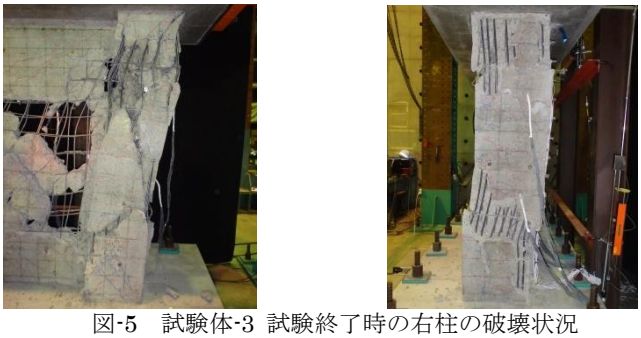


図-5　試験体-3 試験終了時の右柱の破壊状況
(左：正面から撮影，右：右側面から撮影)

表-2　最大荷重の理論値と実験値

試験体名称	理論値	実験値	実験値/理論値
	せん断終局強度 Qsu (kN)	最大荷重Q (kN)	Q/Qsu
1	667.3	912.1	1.37
2	525.1	734.3	1.40
3	513.6	761.5	1.48

４．まとめ

(1)開口を有する耐震壁付柱の耐震性能

開口を有する耐震壁付柱は、開口のない場合と比較して、ひび割れの発生位置と進展方向が異なった。また、最大荷重がより小さく、より小さい水平変位で柱の降伏荷重を下回った。これは、開口があることにより、耐震壁の負担する荷重が低減されることに起因すると考えられる。

(2)柱の半断面を補強した場合の補強効果

開口を有する耐震壁付柱は、無補強時は3δ_yの水平変位で柱の降伏耐力を下回るが、柱の半断面を一面から鋼板及び補強鉄筋で補強した場合には、柱がねじられるような挙動が確認されたものの、8δ_yの水平変位でも柱の降伏荷重を保持し、一定の補強効果が認められる。

参考文献

1)　小林薫，石橋忠良：RC柱の一面から施工する耐震補強工法の鋼板の補強効果に関する実験的研究，土木学会論文集，No.683，Ⅴ-52，pp.75-89，2001.8

2)　日本建築防災協会：既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準，三栄印刷，2001.10