

水平力分担構造等の定着部を対象とした 水平力載荷実験

前川和彦¹・服部匡洋¹・篠原聖二²

¹ (一財)阪神高速道路技術センター調査研究部調査研究第一課
² 技術部技術推進室

要約

既設構造物に対して耐震補強対策として落橋防止構造（変位拘束突起）を設置する際に、既に支承や桁が存在するため、突起を縁端近くに設置せざるを得ない場合がある。縁端近くに設置すれば、固定アンカー、突起端部の縁端までの距離が短いため、コンクリートの抵抗面積が確保できず、押し抜きせん断破壊する可能性がある。実際に、2016年熊本地震では押し抜きせん断による破壊が生じたと思われる事例が確認されている。そこで、落橋防止構造を設置するにあたり、押し抜きせん断に対する照査を実施する必要があることから、既存の照査式の適用性の検証し、照査方法の提案を行うことを目的として、縁端距離等をパラメータとした実験を行った。

キーワード: RC構造物, 落橋防止システム, 実物大実験, 耐荷力評価, 耐震補強

1. 検討背景・目的

既設構造物に対して耐震補強対策として落橋防止構造または横変位拘束構造などの水平力分担構造を設置するにあたっては、既に支承や桁があり設置スペースに限りがあるため、水平力分担構造を橋脚や橋台の縁端近くに設置せざるを得ない場合がある。縁端近くに設置した場合、縁端までの距離が短いことから、コンクリートの抵抗面積が確保できず押し抜きせん断破壊する可能性が考えられ、実際に、2011年東北地方太平洋沖地震や2016年熊本地震等では横変位拘束構造が押し抜きせん断破壊したと思われる損傷が確認された。

これらの被災事例より、縁端近くに設置される水平力分担構造では、水平力分担構造自体のせん断破壊と水平力分担構造周りの押し抜きせん断破壊の2つの損傷メカニズムが考えられ、水平力分担構造の設計にあたっては、水平力分担構造自体のせん断破壊に対する照査に加え、押し抜きせん断に対する照査を確実に実施する必要があると考えられる。

本検討では、縁端距離等をパラメータとした実験を行い、既存の照査式の適用性の検証、新たな照査式（方法）の提案を行うことを念頭に、供試体載荷試験を実施した。

実験は大阪工業大学八幡実験場にて実施した。模型供試体は実物大相当で、2ケースを1供試体で兼用する構造とし、コンクリートは $\sigma_{ck}=18\text{N/mm}^2$ 、鉄筋はSD345を使用した。図-1に載荷試験の概要を示す。供試体は鉄筋コンクリート製で、下部工橋脚梁、または橋台の橋座部分を模擬したコンクリートブロック部、横方向の変位制限機能を有する突起を模擬した突起部から構成され、コンクリートブロック部を反力床にPC鋼棒にて緊張固定し、水平方向に設置した油圧ジャッキで、供試体突起部に50kNを目安として繰返し漸増载荷を与えることにより実施した。載荷試験では、供試体の変位、鉄筋のひずみ、前面の面外変形、および、ひび割れ状況について計測した。また、載荷試験終了後、

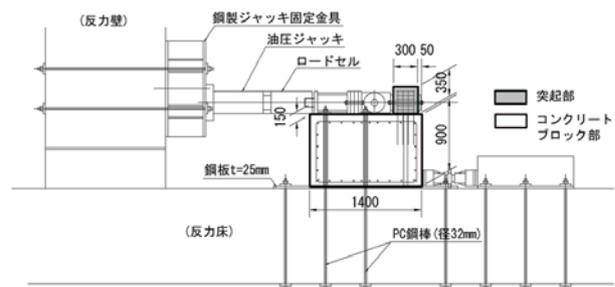


図-1 載荷試験概要

2. 実験概要

表-1 実験ケース

実験ケース	突起位置(mm)		帯鉄筋径φ
	縁端～突起前面	縁端～最後列アンカー	
Case-1	0	250	D16
Case-2	50	300	D16
Case-3	100	350	D16
Case-4	150	400	D16

突起中心部を加力方向沿いに切断し、破壊面の観察をおこなった。実験は本体鉄筋量に着目した4ケ

ース、補強鉄筋量に着目した4ケースを含む全12ケース実施したが、本稿では橋座部の耐力に寄与すると予想される突起背面側のアンカーボルトの中心から橋座縁端までの距離(縁端距離に着目した4ケース (Case-1~4 (表-1)) について述べる。

3. 実験結果

(1) 損傷状況

図-2にひび割れ状況図を示す。

a) Case-1

Case-1では、水平力150kN(水平変位0.6mm)で突

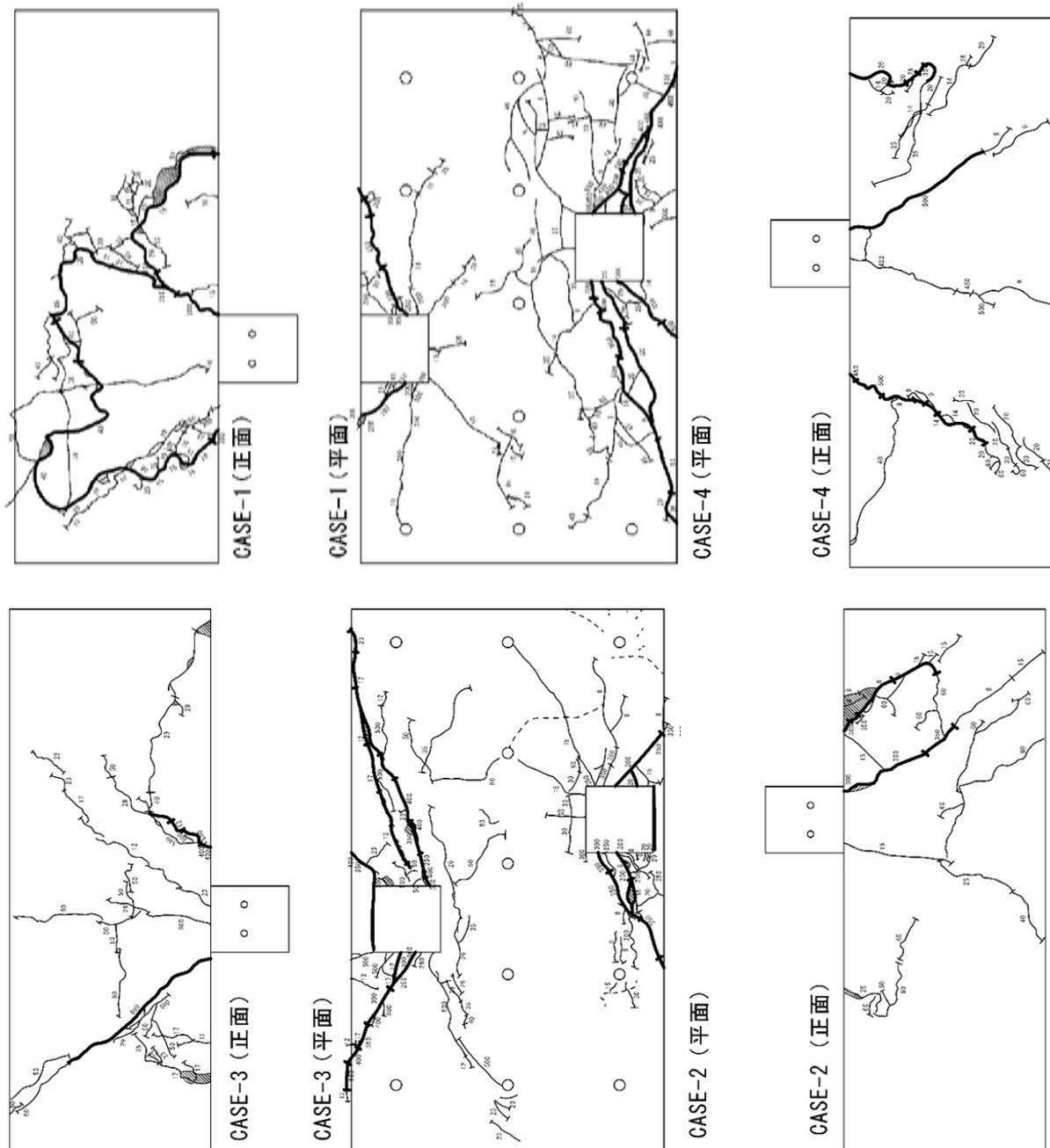


図-2 ひび割れ状況図

起とコンクリートブロックの界面でひび割れが発生し、供試体上面の短辺側では突起の最後列アンカー付近から45度方向に、長辺側では45度より大きな角度を有するひび割れが発生した。その後上面ひび割れがコンクリートブロック前面側へ向かって進展し、200kN(水平変位1.2mm)ではコンクリートブロック前面にひび割れが到達した。最大荷重を迎えたのち、水平変位20mmにおいて上面では45度方向のひび割れが、前面ではハの字型のひび割れが大きく開口し始めた。水平変位25mmで前面側コンクリートが一部剥落し急激な耐力低下が生じた。

b) Case-2

Case-2では、水平力198kN(水平変位0.8mm)で突起とコンクリートブロックの界面からひび割れが発生し、供試体上面の短辺側では突起の中央付近から45度方向のひび割れが、長辺側では最後列アンカー鉄筋付近から45度より大きな角度を有するひび割れが発生した。その後、Case-1と同様にコンクリートブロック前面側へ進展するとともに、水平力430kN(水平変位8.1mm)では前面にもひび割れが生じた。水平変位12.9mmで最大荷重を迎えたのち、上面の45度方向のひび割れ及び前面のハの字型のひび割れが大きく開口したが、コンクリートの剥落は生じず急激な耐力低下は見られなかった。

c) Case-3

Case-3では、水平力251kN(水平変位0.8mm)で突起とコンクリートブロックの界面からひび割れが発生し、コンクリートブロック上面では短辺側、長辺側ともに突起の最後列アンカー鉄筋付近から45度より大きな角度を有するひび割れが発生した。401kN(水平変位2.3mm)では前面側にハの字型のひび割れが発生し、508kN(水平変位7.0mm)で最大荷重に達した。その後水平力の低下に伴い上面側のひび割れが特に大きく開口したが、コンクリートの剥落は生じなかった。

d) Case-4

Case-4では、水平力200kN(水平変位0.5mm)で突起とコンクリートブロックの界面からひび割れが発生し、Case-3と同様にコンクリートブロック上面において短辺側、長辺側ともに突起の最後列アンカー鉄筋付近から45度より大きな角度を有するひび割れが発生した。上面側で発生したひび割れが前面側に向かって進展するとともに、400kN(水平変位2.3mm)では突起前面から伸びたひび割れがコンクリートブロック前面側にまで進展した。水平変位13mmで最大耐力に達したのち、コンクリートブロック上面のひび割れが大きく開口したが、コンクリートの剥落は生じなかった。

(2) 水平荷重-水平変位関係

図-3に水平力-水平変位関係の包絡線を示す。いずれのケースも水平変位10mm前後にて最大耐力を示し、最大耐力以後の繰返し載荷においては水

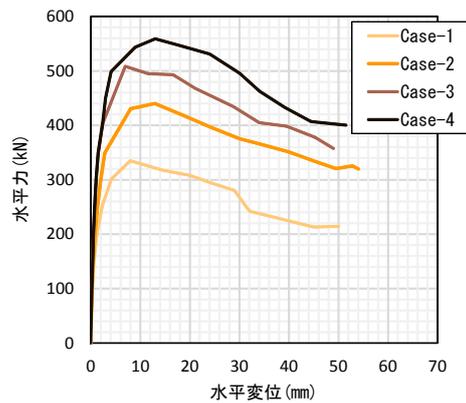


図-3 水平力-水平変位関係

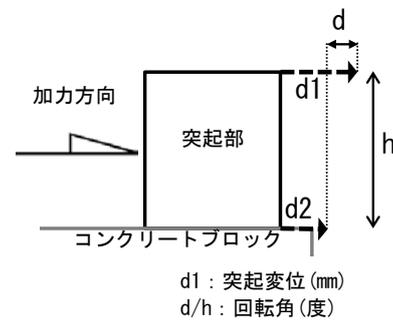


図-4 突起の回転角

平力が緩やかに低下した。また、いずれのケースも、水平変位に対する荷重の上昇が最大耐力以後、徐々に緩やかとなった。最大耐力はCase-1が最も小さく、Case-4が最も大きいことが確認できた。

(3) 突起変位及び回転角

突起が回転しているか、せん断変形のように加力方向と水平に変形するかなどを検討するために、突起の水平変位と回転角について計測した。具体的には図-4に示す突起頂部と突起底部の相対変位 d を突起高さ h で除することにより突起回転角を求め、突起頂部水平変位 $d1$ との関係をプロットした(図-5)。Case-2~4においては、全体、初期状態ともほぼ同様の回転角度を示し、最大耐力以後にやや回転が卓越していた。一方、Case-1は水平変位15mm程度から回転角の上昇が緩やかとなり、他3ケースと比較して加力方向に水平に変形するせん断変形を示す結果となった。

(4) 鉄筋ひずみ

各ケースの最大荷重時の鉄筋ひずみについて、上面鉄筋では降伏ひずみに達したものがあったが、前面鉄筋では降伏ひずみに達したものはなかった。

(5) 切断による破壊面の観察

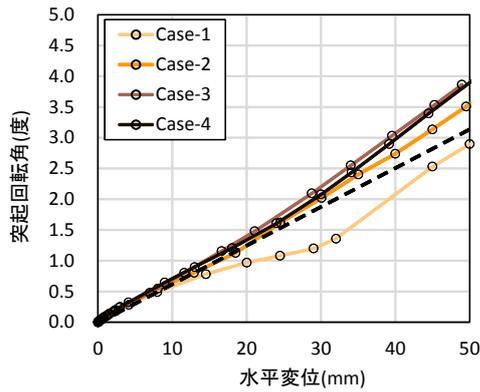


図-5 突起変位（水平変位）と回転角

載荷試験終了後に、突起中心部を加力方向に切断し、破壊面の観察を行った。また、突起アンカー鉄筋の変形状況を確認するため、切断面確認後に手すりにより突起アンカー鉄筋を露出させた。写真-1に切断面の状況を示す。

いずれのケースでも、背面側に45度方向のひび割れ(①)が見られるが、写真-2に示す突起アンカー鉄筋状況と合わせて確認すると、45度損傷面は最背面側の突起アンカー鉄筋の先端部にほぼ接していた。

Case-1では、突起背面側付根部よりやや鉛直方向寄りにひび割れが生じ、損傷部分の骨材に浮きが生じ、土砂化のような損傷を生じていた。前面側においては帯鉄筋位置にて鉛直方向に帯鉄筋をつなぐようにひび割れていた(②)。また、前面かぶりコンクリートでは、突起アンカー鉄筋定着範囲の下方、かぶり厚さの半分程度のところで鉛直方向にひび割れが発生した(③)。

Case-2~Case-4は、突起前面側の付根部より、45度よりもやや鉛直方向に、かぶりコンクリートが剥落するようなひび割れが生じた(④)。また、背面側から45度方向のひび割れは、最背面側の突起アンカー鉄筋の中間部からも生じていた(⑤)。前面側の帯鉄筋を鉛直方向につなぐひび割れは、Case-2, Case-3と縁端距離が離れるにつれて損傷

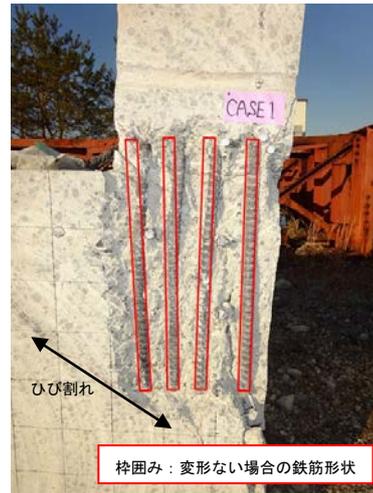


写真-2 突起アンカー鉄筋状況 (Case-1)

が顕著でなくなり、Case-4では生じなくなり、代わりに前面側の突起アンカー鉄筋先端より下方にやや角度を有してひび割れが発生していた(⑥)。

突起アンカー鉄筋の変形に着目すると、Case-1(写真-2)、Case-2では背面側の鉄筋において曲げ変形の傾向が顕著であり、Case-3では変形が小さく、Case-4では変形が見られなかった。

4. おわりに

縁端距離に着目した今回の実験では、突起の変位や回転角、あるいは切断面の状況から、縁端距離により破壊形状の違いが見られ、縁端距離を確保しないCase-1ではせん断変形の傾向が見られた。

また、橋座上面の突起背面側のアンカー付近から斜め45度方向にひび割れが発生、進展したのち、そのひび割れが橋座前面に到達し、上面ひび割れが大きく開口するのが確認された。このため、縁端距離を確保したケースほどコンクリートの抵抗面が大きくなり、それに伴い最大耐力が大きくなったものと思われる。

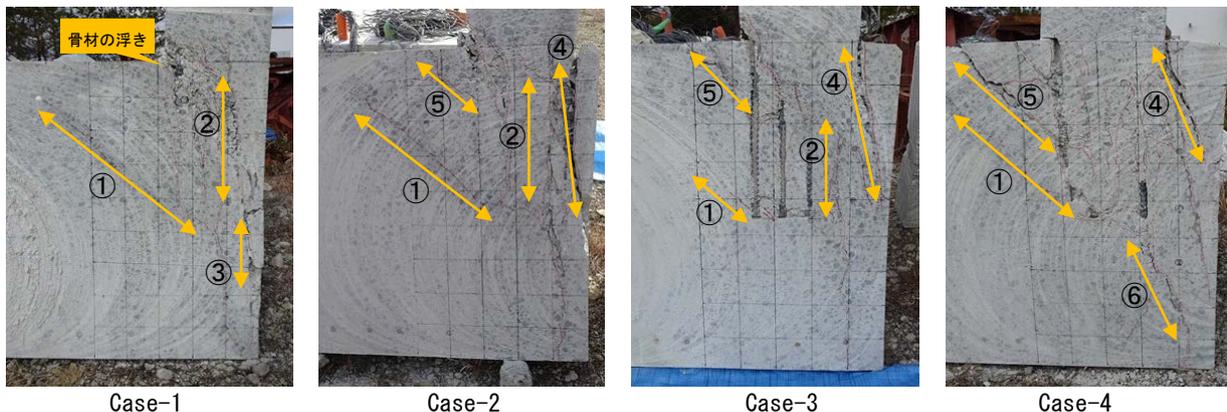


写真-1 切断面の状況