

(112) 鋼板巻立てによる主鉄筋段落し部の耐震補強法

	建設省土木研究所	正員	川島一彦
	〃	正員	運上茂樹
	〃	正員	吾田洋一
○	〃	正員	飯田寛之

1. まえがき

昭和58年の浦河沖地震による静内橋が受けた被害のように、近年の地震においては鉄筋コンクリート橋脚が主鉄筋段落し位置に被害を受けた例が多くみられる。これは主鉄筋の定着不足が原因と考えられ、昭和55年の道路橋示方書以前で架設された橋梁のうち、耐震点検により耐力が相対的に低いと判定された橋脚については、適切に耐震補強を施すことが求められている。ここでは、このような背景のもとに鉄筋コンクリート橋脚の主鉄筋の段落し部の耐震性及び耐震補強方法を模型を用いた正負交番動的載荷実験により検討した結果を報告するものである。

2. 実験に用いた供試体および載荷方法

実験に用いた供試体は、図-1に示すように50cm×50cmの正方形断面を有する載荷高さ2.6m、せん断支間比5.3の鉄筋コンクリート橋脚模型である。表-1のように、供試体No.1および5は無補強、No.2~4は鋼板巻立てによる補強を施したものである。No.6は無補強であるが、他の供試体と比較して主鉄筋量を2/3に下げたものである。鉄筋の降伏点は、軸方向鉄筋(SD30)が4200kgf/cm²、帯鉄筋(SR24)が4400kgf/cm²、コンクリートの平均圧縮強度は430kgf/cm²である。

段落し位置は、供試体No.1では、図-2に示すように基部でちょうど降伏モーメント M_y （終局モーメント M_u ）に達するような水平力が作用した場合の段落し位置での作用曲げモーメント M に対する降伏モーメント M_y （終局モーメント M_u ）の比が0.88（0.92）となるように基部から90cmの位置に定めた。段落し位置では、鉄筋を引張鉄筋比で0.57%から0.18%に落した。供試体No.2~No.5の段落し位置は供試体No.1と同じ高さとした。供試体No.2~No.4は、段落し位置から上に1D、下に0.5D、計1.5D（D:供試体の幅=50cm）だけ鋼板で補強したものであり、段落し位置の余裕度 M_y/M （ M_u/M ）は、供試体No.2~4に対して、それぞれ、1.55（1.70）、1.55（1.70）、1.26（1.35）となる。ここで、鋼板で補強した場合の M_y 、 M_u は鋼板を主鉄筋換算して道路橋示方書V耐震設計編の手法により計算で求めた値である。供試体No.5では、軸力をNo.1~4の2倍としている。このため、段落し位置を計算上は、下げられることになり、このため、結果的に、段落し位置（供試体No.1と同じで、基部から90cm）での余裕度 M_y/M （ M_u/M ）は、1.0（1.02）となっている。No.6では、段落し部の余裕度 M_y/M （ M_u/M ）がちょうど1.0（1.02）になるように、段落し位置を基部から100cmとし、引張鉄筋比を0.39%から0.12%に落とした。

補強に用いた鋼板は、冷間圧延鋼材（SPCC）で、鋼板と供試体の間隙には、No.2では無収縮モルタル、No.3およびNo.4ではエポキシ樹脂を注入した。

写真-1に示すように供試体を水平に倒して反力壁に固定し、動的加振機によって強制的に水平変位を与えた。基部の主鉄筋が降伏する際の載荷位置における変位量 δ_y （降伏変位）を基準として、この整数倍の変位を各10回繰り返して与えた。載荷速度は5cm/secとした。橋脚末端には軸力載荷装置により常に鉛直下方（実験では水平方向）の軸力を加えた。軸力は、供試体No.1~4及び6では28.8tf（軸応力度 $\sigma = 11.5\text{kg/cm}^2$ ）No.5では57.6tf（ $\sigma = 23.0\text{kg/cm}^2$ ）である。

3. 耐震補強の効果

3.1 段落し部の余裕度の影響

供試体No.1および5は、ともに、耐震補強しない場合であるが、段落し部の余裕度が小さいNo.1（ M_y/M

= 0.88) では供試体基部において降伏せず段落し部でせん断破壊している。ただし、段落し部と基部の余裕度を同じにしたNo. 5 ($M_y/M=1.0$) では、最初は基部で降伏し始めたが最終的には段落し位置でせん断破壊している。なお、両者は軸力が異なっており、図-3 (a)に示す荷重～変位包絡線のように軸力が大きいNo. 5の方が最大耐力では平均10%程度大きくなる。ただし、段落し部のコンクリートの剝離が始まる $3\delta_y$ (変位45mm) になると、No. 1では急激に耐力の減少を示す。特に $5\delta_y$ (変位75mm) 以降になると段落し部における主鉄筋の破断が始まり、これ以降の耐力低下が著しい。最終的には、図-4 (e)に示すように柱の中心軸がずれるほどの破壊が生じている。

3.2 鋼板で補強した場合の注入材の影響

補強鋼板とコンクリートの間の充てん注入材として用いた、無収縮モルタル (No. 2) とエポキシ樹脂 (No. 3) のの違いを荷重～変位の包絡線で比較すると、荷重がマイナス側では無収縮モルタルの方が、やや耐力が大きいくらいで、全体としてみると同程度の結果を与えている。ただし、無収縮モルタルを用いた場合には変位が $3\delta_y$ (変位45mm) になると鋼板の最下端側でモルタルが剝離し鋼板が浮上がり始める。このため、これ以後の载荷では、鋼板で補強した範囲の中で下端位置で橋脚コンクリートの損傷が進展し、最終的には図-4 (b)に示すように破壊した。これに対してエポキシ樹脂を注入した場合には、 $7\delta_y$ に至るまでコンクリートと鋼板の密着性が確保でき、段落し位置では破壊せず、基部で曲げ破壊した。実験終了後補強鋼板を剝してみると、エポキシ樹脂はまだ供試体に付着しており、供試体断面には小さなクラックが生じている程度であった。

3.3 補強鋼板の厚さの影響

鋼板厚さの違うNo. 3とNo. 4を比較すると、鋼板厚さが0.6mm (No. 4) の場合には、 $2\delta_y$ で樹脂にひび割れが生じ (载荷途中のひび割れ音から判断)、 $4\delta_y$ では鋼板の変形が下端部で生じて樹脂との付着が失われ、 $5\delta_y$ で鉄筋の破断が段落し位置で始まった。最終的には、橋脚の段落し位置でせん断破壊した。実験終了後補強鋼板を剝してみると、エポキシ樹脂は大きくひび割れて、はがれ落ちていた。これに対して鋼板厚さが1.0mmの場合 (No. 3) には、鋼板には変形は生じず、従って上述したように $7\delta_y$ まで特に段落し部では損傷が生じなかった。

3.4 エネルギー吸収能

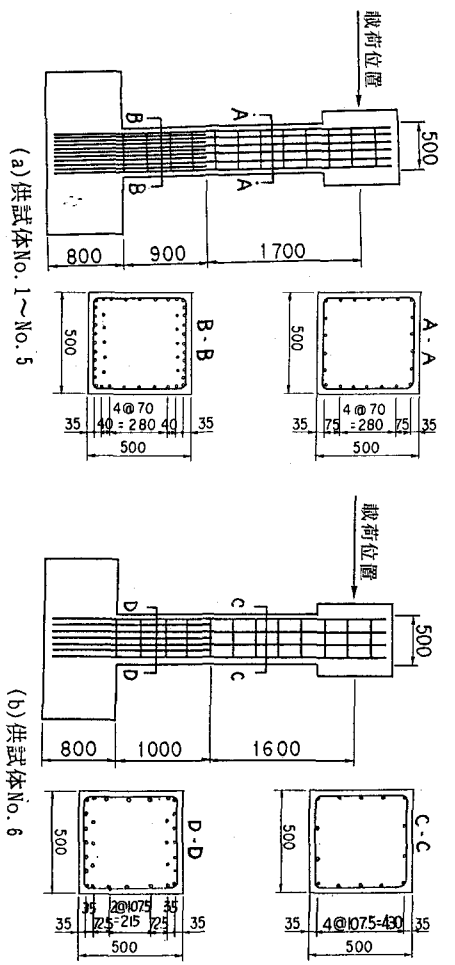
各供試体の変位～累積吸収エネルギーの関係を図-5に示す。累積吸収エネルギーは、当然ながら段落し部でせん断破壊したNo. 1, No. 5, No. 6の場合には、耐震補強したNo. 2, No. 3, No. 4よりも小さい。

4. まとめ

今回の実験を整理すると、以下ようになる。

- 1) 道路橋示方書V耐震設計編の方法により求めた段落し位置における余裕度が少なくとも1.0 (1.02) よりも小さい場合には段落し位置で破壊する。
- 2) 注入材としては、エポキシ樹脂の方がコンクリート及び鋼板との付着性が良好なため、より大きな载荷変位に至るまで鋼板の浮き上がりを防止でき、このため、段落し部での損傷を防止するのに有効である。ただし、荷重～変位包絡線で比較すると、無収縮モルタルとエポキシ樹脂の違いはそれほど大きなものではない。
- 3) 鋼板を主鉄筋に換算して算出した M_y (M_u) に対する余裕度の最小値 M_y/M (M_u/M) が1.26 (1.35) の場合には、段落し位置での損傷を防止することができなかった。これに対して、この余裕度が1.55 (1.70) の場合には、エポキシ樹脂を用いた場合には段落し位置におけるせん断破壊を防止することができた。ただし、無収縮モルタルを用いた場合には、同じ余裕度 (1.55) があっても、最終的には、段落し部でせん断破壊した。

【参考文献】 道路震災対策便覧 (震前対策編) ; (社)日本道路協会, 昭和63年2月



(a) 供試体No. 1~No. 5

(b) 供試体No. 6

供試体	補強	鉄筋比	引張鉄筋比	段落し位置	軸力	段落し強の余裕度
					M_u/M_u	M_u/M_u
1	縦筋厚 $t=18mm$ 長さ $L=75cm$	1.31%	0.51%	90cm	28.8t	0.88
2	縦筋厚 $t=18mm$ 長さ $L=75cm$ 無収縮鉄筋 $\phi 20mm$ 厚 (2.11%)	1.31%	0.51%	90cm	28.8t	1.55
3	縦筋厚 $t=18mm$ 長さ $L=75cm$ 1.4寸筋筋 3mm厚 (2.11%)	1.31%	0.51%	90cm	28.8t	1.55
4	縦筋厚 $t=0.6mm$ 長さ $L=75cm$ 1.4寸筋筋 3mm厚 (1.79%)	1.31%	0.51%	90cm	28.8t	1.28
5	縦筋厚 $t=0.6mm$ 長さ $L=75cm$ (1.79%)	1.31%	0.51%	90cm	57.6t	1.00
6	縦筋厚 $t=0.6mm$ 長さ $L=75cm$ (1.79%)	0.88%	0.39%	100cm	28.8t	1.02

() 内は、鋼板を主鉄筋換算した場合の鉄筋比

図-1 実験に用いた供試体

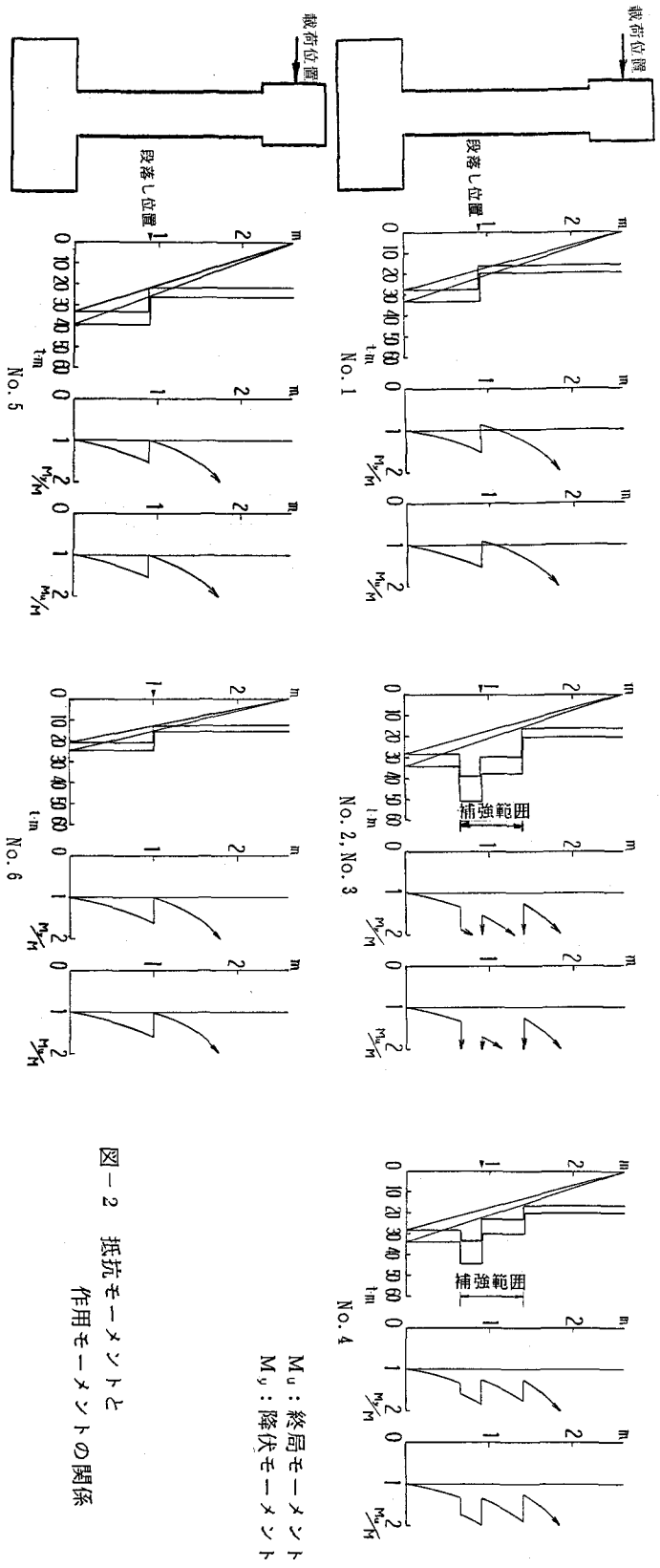


図-2 抵抗モーメントと作用モーメントの関係

M_u : 終局モーメント
 M_u : 降伏モーメント

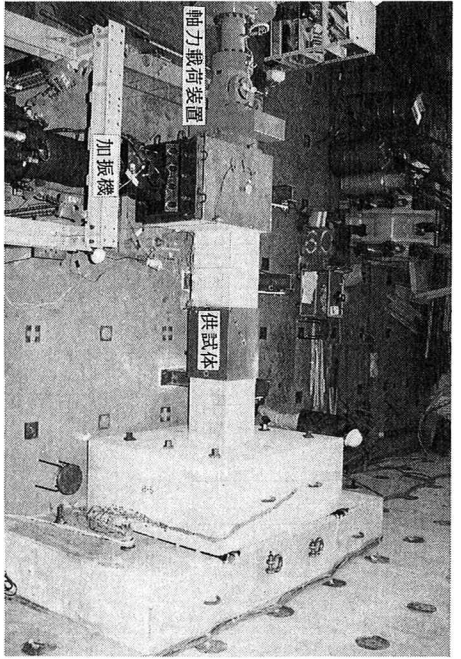


写真-1 実験状況

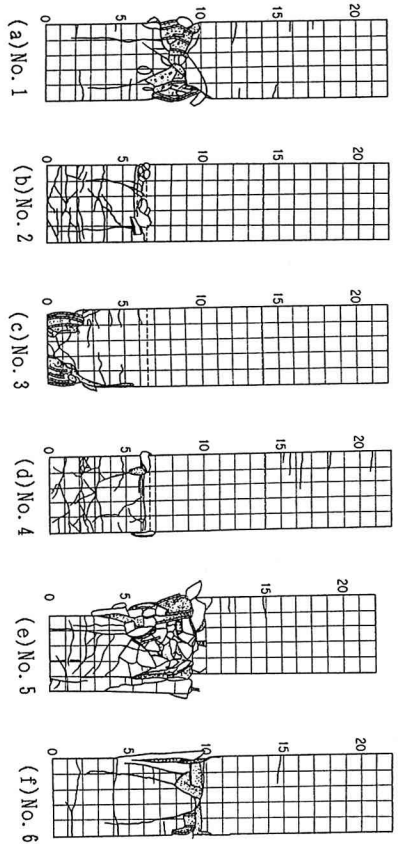
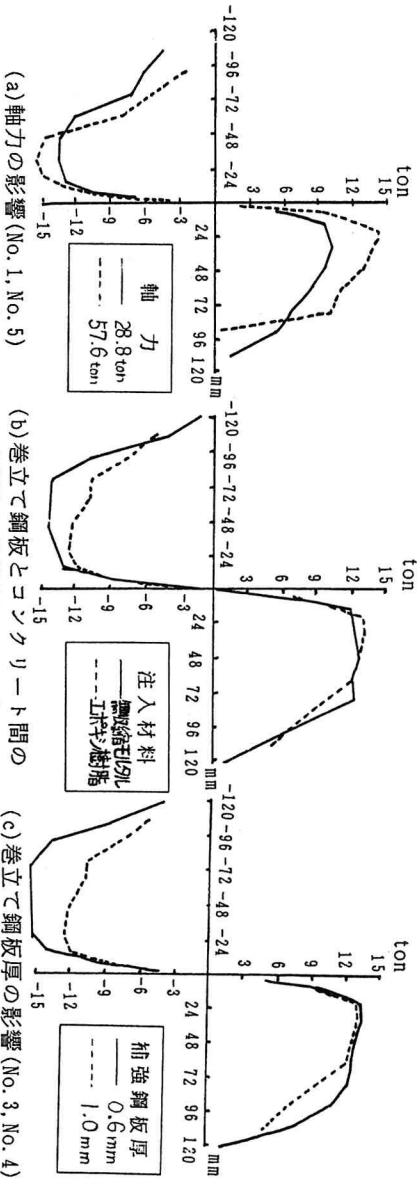


図-3 最終破壊状況



(a)軸力の影響 (No.1, No.5)

(b)巻立て鋼板とコンクリート間の充填物の比較 (No.2, No.3)

(c)巻立て鋼板厚の影響 (No.3, No.4)

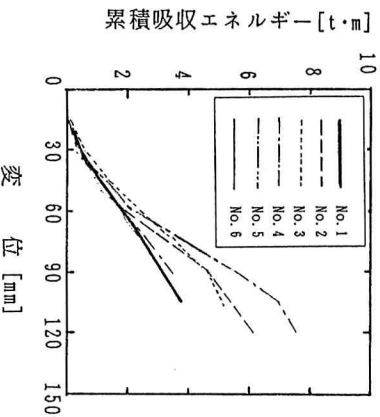


図-5 累積吸収エネルギー

図-4 荷重～変位包絡線