

[115] 鉄筋コンクリート橋脚のフーチングよりの引抜け性状について

正会員 松本 進 (鹿児島大学工学部)  
 正会員 ○出口 秀史 (鹿児島大学工学部)

1. 緒言

地震時における鉄筋コンクリート橋脚 (RC橋脚) の弾塑性応答解析のためには部材の復元力特性を知る必要がある。特に、鉄筋が降伏した後の塑性領域における力学性状は復元力特性には極めて大きな影響をもつもので、従来の研究では十分に説明されていない点が多々あると考えられる。

本研究は、鉄筋降伏後の鉄筋の引抜け性状に着目して、繰返し載荷の影響、載荷条件 (荷重制御, 変位制御, 歪制御) の影響、荷重速度の影響およびコンクリートの影響等を実験的に詳細に検討し、RC橋脚の弾塑性応答解析に必要な復元力特性の資料に資せんとするものである。

2. 実験概要

実験に使用した供試体は図-1に一例を示すように、断面が40×20cmのもので長さについては90cmおよび120cmの2種類がある。この断面の中心に異形鉄筋を埋込み、引抜き試験に供せられるようにしたものである。試験に際しては、鉄筋の歪を測定するために塑性ゲージを貼付した。また、鉄筋の引抜け量の測定に当ってはコンクリートから上方1cmの鉄筋位置で変位計を使用した。実験に使用したコンクリートの配合を表-1に併せて示す。使用した鉄筋の力学性状の一部を表-2に示す。

表-2は実験で考えた要因を一覧にしたもので、荷重速度については鉄筋の降伏点応力度に達するまでの載荷時間を7秒~15秒までの3種類とし、降伏点応力度以上ではそれぞれの載荷時間と同様の速度で載荷した。コンクリートの圧縮強度については予定強度を300 Kg/cm<sup>2</sup>, 400 Kg/cm<sup>2</sup>の二種類とした。

載荷方法については3種類とし、変位制御はある引抜け量に対して、3回程繰返し載荷を行い、終局に至るまで引抜け量を徐々に増加させた。また、荷重制御は鉄筋の降伏荷重から引張荷重までを5段階に分け、それぞれの荷重段階において20回ずつ繰返

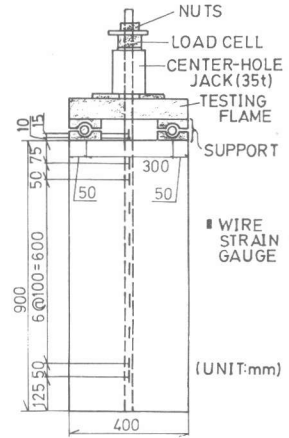


図-1 試験方法

表-1 コンクリートの配合

TEST SPECIMEN	Gmax (mm)	SLUMP (cm)	air (%)	W/C (%)	S/a (%)	UNIT WEIGHT(kg/m <sup>3</sup> )			
						W	C	S	G
NO.1,2	2.5	8.0	2	5.7	4.9	224	394	74.5	831
NO.3	2.5	4.2	6	4.5	4.5	167	371	70.9	932
NO.4	2.5	8.0	4	5.3	4.7	167	315	77.8	958
NO.5,6,7	2.5	8.0	2	6.3	5.1	197	313	83.3	874

表-2 実験要因

FACTOR	LOADING SPEED (sec/cycle)	DE-FORMED BAR	COMP. STRENGTH of CONCRETE (kg/cm <sup>2</sup> )	YIELDING STRESS of BAR (kg/cm <sup>2</sup> )	TENSILE STRENGTH of BAR (kg/cm <sup>2</sup> )	ENBED-MENT LENGTH (cm)	LOADING METHOD
NO.1	12	D-13	280	2920	4562	89	①
NO.2	15	D-16	293	3656	5639	119	①
NO.3	15	D-16	408	3605	5388	89	①
NO.4	7	D-16	375	3656	5639	89	①
NO.5	12	D-13	291	2920	4562	89	②
NO.6	15	D-16	294	3656	5639	89	③
NO.7	15	D-16	282	3656	5639	89	④

NOTE: ① CYCLIC, DISP. Contr. ② NON-CYCLIC  
 ③ CYCLIC, LOAD Contr. ④ CYCLIC, STRAIN Contr.

し載荷を行った。同様に、歪制御についても終局時までを5段階に分け、それぞれの段階で得られた最初の歪になる様にして繰り返し載荷を10回程度ずつ行った。他方、上記の繰り返し載荷の影響を見るために、繰り返し載荷を行わないで終局まで載荷したのものもある。

### 3. 実験結果

図-2は繰り返し載荷の影響を示した一例であって、図中実線は変位制御のもとで繰り返し載荷を行ったものである。繰り返し載荷実験を行った結果、鉄筋の応力(荷重)が増大するにつれて、引抜き量も徐々に増大し、最終的には鉄筋の引抜き量が50mm程度となった時点で鉄筋の破断で破壊した。すなわち、このような繰り返し実験では、いわゆる変位靱性率が200を越え極めて大きくなることが判明した。この原因としては試験方法もさることながら繰り返し載荷の影響もかなり大きいと考えられる。そこで、繰り返し載荷の影響を検討するため、図-2中に繰り返し載荷を行わないものについて図中破線で併せて示した。荷重と変位の関係はほぼ前者と同じ傾向が認められ、また、繰り返し載荷を受けたものの荷重・変位曲線は繰り返し載荷を受けないものの荷重・変位曲線の中に含まれる傾向が特に変位の多い所で認められる。

上記した変位特性は繰り返しの影響の他に、種々の影響を受けることが考えられ、以下に検討を行った幾つかの例を示す。

図-3は荷重制御による応力・変位曲線の一部を示したものである。荷重制御による変位特性はある一定の荷重の繰り返しを受けると繰り返し回数の増大と共に変位が増大することおよび同一応力内での繰り返しでは応力・歪の履歴曲線は初期の回数のもので、エネルギーの吸収が多く、回数が増大するにつれてエネルギー吸収が少く、弾性体に近い挙動をすることが認められる。

図-4は変位制御による応力・変位曲線の一例を示したものである。ある与えられた変位内での繰り返しの影響は、その変位の処女載荷時にエネルギー吸収が最も大きく、繰り返し回数が増大するにつれて、与えられた変位を維持する応力は回数が増大と共に減少する。また、処女載荷あとの応力・歪曲線は極めて弾性的な挙動を示していることが認められる。

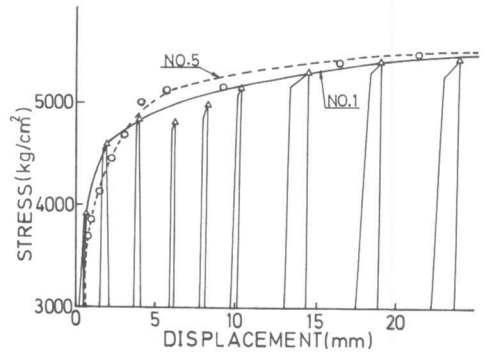


図-2 繰り返し載荷の影響

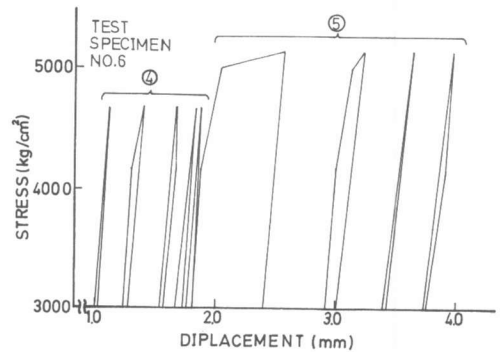


図-3 荷重制御の影響

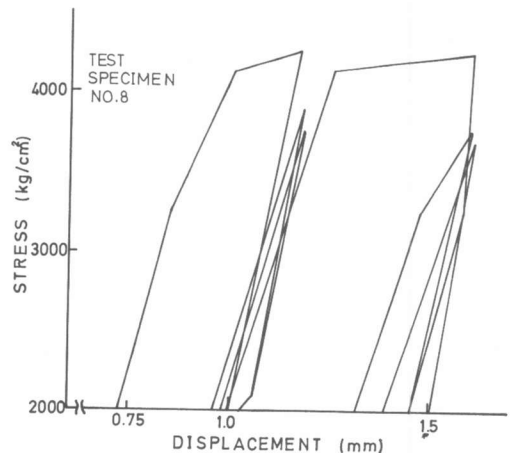


図-4 変位制御の影響

図-5は歪制御の影響を検討した一例であって、図中④および⑤は鉄筋の降伏点応力度と引張強度の8割および10割の荷重に相当する段階を示したものである。同図より、歪制御された部材の変位特性は各段階共に処女載荷時に極めて大きな特徴が認められ、すなわち荷重制御や変位制御と同様にエネルギー吸収が極めて多いことである。さらに、与えられた一定の歪内での繰返しは応力が必ずしも繰返し回数と共に減少せず、幾分歪硬化を伴ったような現象が見受けられるものの応力・歪の履歴は極めて弾性体に近い挙動をしていることが認められる。

以上、荷重方法について変位制御、荷重制御および歪制御の三者について、それぞれの特徴を述べたものである。さらに、三者について共通して言えることはそれぞれの履歴曲線は図-2に示したような繰返しを受けない履歴曲線の中に含まれるようである。

図-6はコンクリートの圧縮強度を二種類に変えた場合の応力・変位の関係を示した一例である。同図より鉄筋の降伏点応力度を少し越える所までは、コンクリート強度の大小には顕著な差が認められないが、応力が $4,300\text{kg/cm}^2$ 以上と大きくなるにつれて強度の小さいものの方が強度の大きなもの比べて変位が大きくなる傾向が認められる。この様な傾向は既往の異形鉄筋に関する研究でも言われていて、上記の理由は付着強度の差異によって生じたものと考えられる。

図-7は荷重速度の影響を検討した一例を示したものである。図中、サイクル14秒および30秒は降伏点応力度までの往復の時間を目安として示したものである。同図より、荷重速度が小さいと変位は荷重速度の大きいものに比べて明らかに大きい傾向が認められる。この様な傾向は一般の物理現象でも言われている事実と合致するもので、荷重速度の大きさ如何によっては塑性域における鉄筋の引抜け量は極めて大きな差となって現われることを示すもので、ひいては鉄筋コンクリート部材の復元力特性に大きな影響を及ぼす可能性があることを示唆しているものと考えられる。

図-7 荷重速度の影響

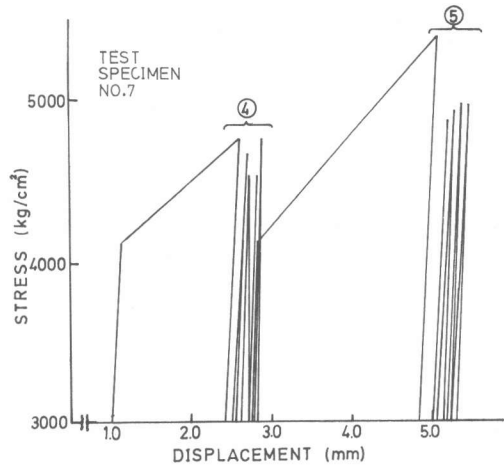


図-5 歪制御の影響

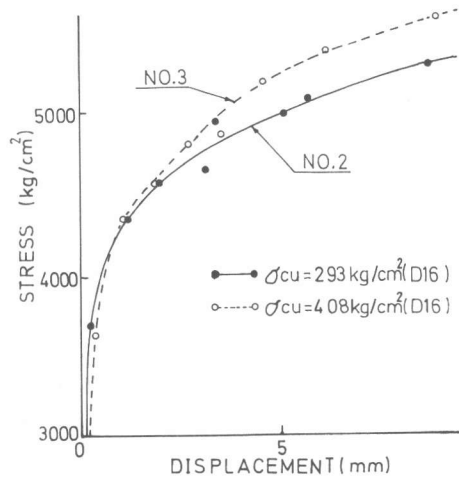
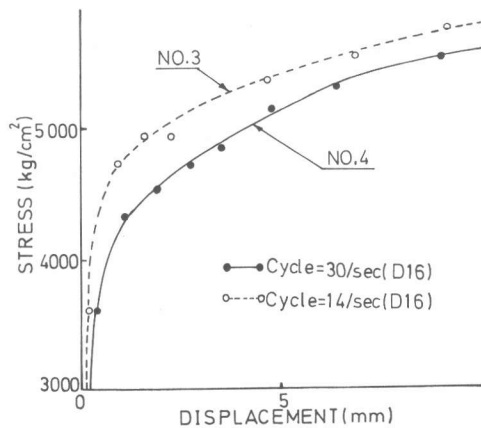


図-6 コンクリート強度の影響



一般に、鉄筋コンクリート部材の復元力特性を求めするためには、何等かの形で荷重と変位曲線を決めなければならない。これを決めるには実験による方法とか付着応力度分布から求める方法とかが提案されているものの、未だ確実であるとは言い難いものがあると考えられる。本実験では鉄筋表面に塑性ゲージを貼布して、各点の歪を計測したのでこの歪分布より荷重・歪曲線が推定できるかどうか検討してみた。

図-8は図-1に示した歪ゲージ位置での歪の分布の一例を各段階毎に示したものである。同図より、荷重が増大するにつれて鉄筋表面の歪も増大し、さらに鉄筋の歪の0点も徐々に下方に移動してゆく傾向が認められる。すなわち、付着応力度分布が下方に移動している。そこで、このような歪分布から各点間の変位を積分して、その総和を求めるとそれが変位（鉄筋の引抜け量）になる。この様な方法で計算した変位を図-9の破線で示した。なお、この計算に当っては各歪間の歪分布は直線分布するとして求めたものである。同図より、実測の歪分布より求めた変位は実測の変位とかなり良く近似していることが認められる。この事実は、塑性域を含めた鉄筋の応力分布を正しく評価してやりさえすれば、実際の挙動に近い変位曲線が得られるということである。

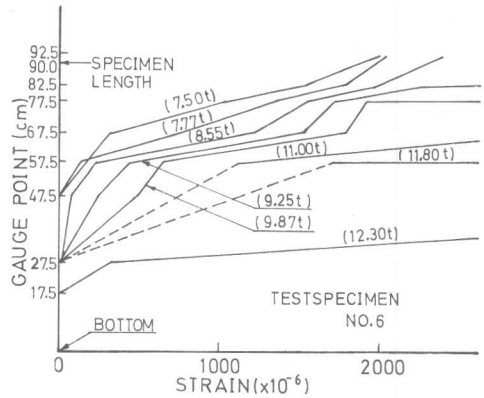


図-8 歪分布性状の一例

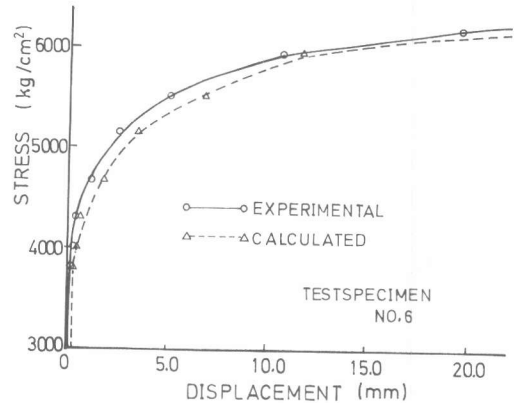


図-9 引抜け量の計算値の一例

#### 4. 結 言

地震時における鉄筋コンクリート橋脚の復元力特性を知る一つの手がかりとして、簡単な引抜き試験供試体を製作し、種々の要因のもとで実験を行った。実験の数が少く、確定的なことは言い難いが実験の範囲から次のことが言えると思われる。RC橋脚の復元力特性に及ぼす影響要因は種々あって、載荷方式（変位制御・荷重制御・歪制御）、コンクリートの圧縮強度および荷重速度によって大きく影響を受けると考えられ、さらに繰返しの影響も大きいことが併せて確められた。また、変位曲線については正確な歪分布を得ればその推定は部材の破壊時に至るまでかなり正確に求められることが判明した。

今後の問題としては、各種要因における歪分布をどの様に評価するかということで、これについてシュミレーションを行い、数値計算を行う予定であり、また実際の橋脚に近い供試体でその結果を確かめる積りである。

本研究は、東京大学岡村甫先生を研究代表者とする科学研究「鉄筋コンクリート橋脚の耐震設計法」の一分野を担当させて頂いたもので、文部省より科学研究費を賜った。ここに、厚く御礼申し上げる次第です。

（参考文献）

- 1) 第2回異形鉄筋シンポジウム：土木学会コンクリートライブラリー，第14号．1965年．12月
- 2) 尾坂他3名：鉄筋コンクリート橋脚の弾塑性応答解析と設計の応用，土木学会論文報告書，第297号，1980年