

# V-101 高応力くり返し荷重を受けるコンクリート橋脚の耐力に関する基礎的実験

首都高速道路公団 正員 西山啓伸

“ “ 矢作 矩

“ “ 〇秋元泰輔

## 1. まえがき

我が国のような地震国では、コンクリート橋脚などの柱は地震の影響による力によって設計される場合が多く、想定される以上の高応力が奇状に作用する可能性がある。したがって、その場合の構造物の安全性を検討する意味で、高応力くり返し荷重時のコンクリート奇状の挙動を研究する必要があり、すでに建築では多くの研究結果が発表されている。しかし、土木ではこの種の研究は非常に少ない。建築と土木では構造物の信頼性について若干ニュアンスの違いがあり、設計法も異なる上に、土木の場合は高架橋の橋脚のような静定構造物が多く、奇状の上部の破壊は構造物全体の破壊につながるもので、土木でも大いにこの種の研究をする必要があると思われる。本報告は以上の考えにもとづき、まず高応力くり返し荷重を受けるコンクリート奇状の研究についての既往の文献を調査し、実験の要因として主に載荷方法(静的くり返しと動的くり返し)、帯鉄筋量(土木の考え方と建築の考え方)などを選んで供試体3体を製作して基礎実験を行ない、鉄筋コンクリート橋脚(柱)の剛性、じん性、塑性域の長さなどを検討し、その結果をまとめたものである。

## 2. 既往の文献調査

既往の文献は我が国のも約80編および諸外国のもの約40編を収集し、整理した<sup>(1)</sup>。大部分は建築のもので、(1)せん断耐力(2)たかー変位曲線(3)じん性(4)塑性域長さ(5)主鉄筋の径と帯鉄筋の径と間隔(6)2方向曲げ(7)載荷速度(8)接合部および基礎における主鉄筋のすべりの影響(9)り合鉄筋比以上の高応力くり返し回数(10)効果、などについて研究されている。(1)については、スパン比、軸力、主鉄筋比、主鉄筋の径と間隔、帯鉄筋比、帯鉄筋の形状と間隔、コンクリート強度、断面形状、接合部および基礎におけるそれらの挙動と主鉄筋のすべり、載荷方法と荷重のくり返し回数などの影響について多く研究されている。(2)についても多くの研究がなされており、鉄筋コンクリート奇状はたか-linear型のたか変位曲線になること、破壊モードが曲げ降伏破壊型、せん断破壊型、付着・創設破壊型などによりたか変位曲線が異なること、などが述べられている。(3)についても多くの研究があり、帯鉄筋量、軸力、帯鉄筋の形状、コンクリートおよび鉄筋のひずみ能力、などが要因となっている。じん性率は部材の塑性変位と降伏点の変位との比あるいは変位でなく曲率の比で示されるが、奇状の耐力低下が生じるまでのじん性率と終局におけるじん性率について述べられており、これを明確に区別する必要がある。なお、曲率 $1/100$ の正負10回のくり返し載荷で耐力低下をしないか、曲率 $1/5$ の単調増大する奇状角に対してほとんど耐力低下をしない場合はじん性に富んでいるとしているようである。また、平均せん断たか度 $30\%$ 程度をこすと、かなりのせん断補強をしても粘りのない破壊をしやすいようである。その他、(4)は一般にコンクリート奇状は大きいこと、(5)は軽微の建築は1.5倍、土木は1.0倍としていること、(6)は主鉄筋と帯鉄筋とが相補するように決めるとよいこと、(7)は1方向曲げより2方向曲げの方が耐力低下が大きいこと、(8)は静的挙動と動的挙動は同じであること、(9)は主鉄筋のすべりの影響は大きいこと、設計でどのように取り扱うか不明であること、(10)は数例あり、PC奇状についての研究もあること、(11)は数例の研究はあるが、結論付けるには不十分であること、などである。

## 3. 基礎実験の供試体および載荷方法

当公団の鉄筋コンクリート橋脚の例より帯鉄筋量を求め、それに相当する帯鉄筋を配置した供試体2本およびその供試体に対し、建築の考えで設計した供試体1本を製作した。(表-1)供試体の形状・寸法は図-1に示

すようにフーチングと一体にした単柱で、その趾部に水平力を載荷した。(基礎的実験の意味で軸力は作用させなかった。)この種の実験ではフーチング部に欠けにひびわれが生じやすく、主鉄筋のすべり出しが生じるので、フーチングにブリストスと導入してこのような影響を取り除いた。コンクリートの圧縮強度は約300%<sup>(1)</sup>、主鉄筋はSD30, D19 ( $\sigma_{sy}=3,590\%$ ), 帯鉄筋はSR24,  $\phi 9$  ( $\sigma_{sy}=2,930\%$ )である。

載荷方法および測定を図-2に示す。加振機は油圧式振動試験機で最大荷重15<sup>5</sup> (静的), 150<sup>5</sup> (動的), 最大振幅±10<sup>mm</sup> (経時曲線により、2Hzで6<sup>mm</sup>, 0.1Hzで10<sup>mm</sup>)の性能を有する。載荷ワイヤルはType1の場合、載荷ごとに荷重を止め測定を行なう静的載荷で、ひびわれ発生時、設計荷重時(常時および地震時)、降伏荷重時にそれぞれ2~3回、その後じん性率を増すごとに1回交番荷重を載荷した。Type2および3の場合は動的連続載荷で、設計荷重時(常時および地震時)、降伏荷重時、その後じん性率を増すごとに各10回の交番くり返し荷重を載荷した。この場合、降伏荷重時または1~0.5Hzの荷重制御により載荷し、その後は0.1Hzの変位制御で載荷した。(始めの計画では3Hz程度で載荷し、供試体E破壊するつもりであったが加振機の性能によりこのような載荷となった。)測定内容は主鉄筋、帯鉄筋、フーチングの鉄筋、フーチング裏面のコンクリートへのすべりと経時変位で、データレコーダーおよびオシログラフ上に記録させた。なお、供試体の動的挙動を記録する意味でビデオテープを用いたが、良い結果を得た。今後、この種の実験には用いるとよいと思う。

#### 4. 実験結果および考察

実験結果の例として、荷重変位曲線を図-3に、ひびわれ・破壊状態を図-4に示す。これらの考察を以下に簡単に述べる。荷重変位曲線について(図-3)……Type1の降伏荷重は正荷重の場合計算値とほぼ一致するが、負荷重の場合若干計算値より小さくなっている。(バウレンガー効果)じん性率が一定程度までは耐力低下を生じていない。負の耐力は正の耐力より若干劣っている。Type2の履歴曲線(図省略)は紡錘型から歪み型と変化した。耐力は他の2次試体より小さく、特に負の耐力の小さいのが目立つ。じん性率が1~3の時に耐力低下が生じており、くり返し載荷の影響を大きく受け、耐力低下が著しい。Type3の履歴曲線(図省略)は主鉄筋の圧屈現象により降伏後曲線と重なった。交番くり返し載荷の影響を一層受けずに正負同様な曲線を示しており、耐力低下を示すじん性率は2~3でType2より格別の挙動を示した。破壊状態について(図-4)……Type1は2.5~2.7<sup>5</sup>で曲げひびわれがほぼ水平に生じ、じん性率が2.5~3.4で斜めひびわれが生じた。(平均せん断耐力6.4%)その後、ほぼ帯鉄筋と等しい内周でコンクリートが崩壊状のものも形成され、主鉄筋に沿って割れひびわれが通んだ。最終的には割れ破壊型を示した。Type2は降伏荷重まではほぼType1と同様な挙動を示し、降伏荷重時初期に斜めひびわれが生じた。(平均せん断耐力5.3%)その後斜めひびわれ幅が大きくなり、帯鉄筋の外側、内部のコンクリートが脱落し、耐力低下を示した。せん断破壊型の破壊である。塑性域の長さは振幅のほぼ2倍である。Type3は7.5<sup>5</sup>の載荷時後半に斜めひびわれが生じた。(平均せん断耐力7%)降伏荷重以降はX型および主鉄筋に沿ったひびわれが生じ、帯鉄筋の外側のコンクリートが脱落し(内部もType2ほどではないが脱落した)、主鉄筋の圧屈して大きくわん曲し、数本が破断した。曲げ圧縮型の破壊である。塑性域の長さは振幅のほぼ1.3倍である。

#### 5. あとがき

文献調査で高たくり返し荷重を受けるコンクリート橋脚の耐力について検討して供試体を製作し、静的および動的くり返し交番荷重の載荷実験を行なった結果、現在設計されている橋脚はねばりが必要とこがわかった。まえがきにも述べたように地震時にはねばりが必要とする為、今後、柱の帯鉄筋の量、内周および形状、塑性域の長さ、軸力作用の影響、載荷速度などについて、既往の文献を検討し、この種の実験研究と土木の合野でも大いに押し進めよう必要があると思われる。なお、文献調査、実験について佐賀建設技術研究所の山本氏の御協力に謝意を表します。文献(1)「橋梁(主と路盤)の設計と信頼性について」新築、土木技術 vol.29, No.2, 1974 (2)「地震時におけるコンクリート橋脚の耐力についての研究報告」高野建設技術研究所 昭和49年3月 (3)「フーチングにおける主鉄筋の定着に関する実験的研究」土屋、秋元、橋本、昭和49年4月 (4)「橋梁の耐力について」高野建設技術研究所 昭和49年3月

表-1 供試体の種類

| 供試体    | シャーシ状 | 主鉄筋<br>径と量   | 帯鉄筋<br>径と量        | 帯鉄筋<br>の間隔 | 加力<br>方法 | 準拠<br>規定 |
|--------|-------|--------------|-------------------|------------|----------|----------|
| Type 1 | 4.0   | D19<br>0.82% | $\phi 9$<br>0.16% | 20cm       | 静的       | 土木学会     |
| Type 2 | "     | "            | "                 | "          | 動的       | "        |
| Type 3 | "     | "            | $\phi 9$<br>0.32% | 10cm       | "        | 建築学会     |

図-1 供試体の形状寸法

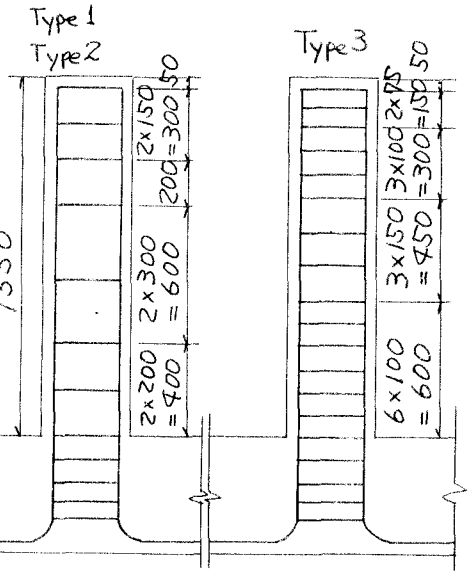


図-4 WJ444図

(1) Type 1

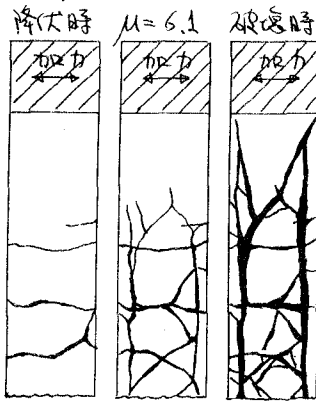
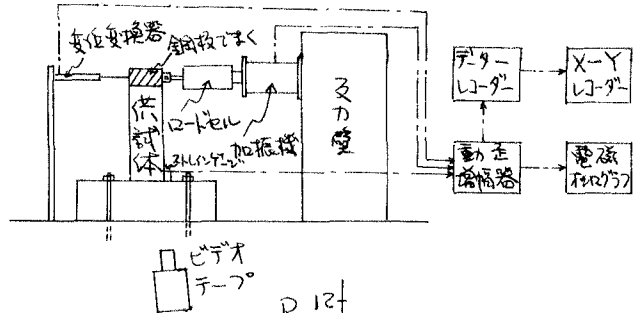


図-2 載荷装置 および測定装置



(2) Type 2

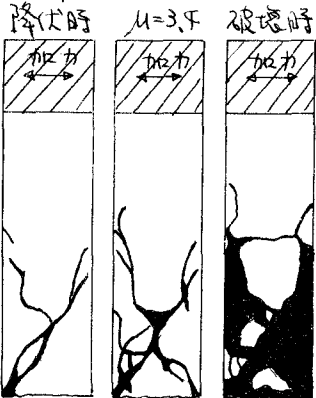
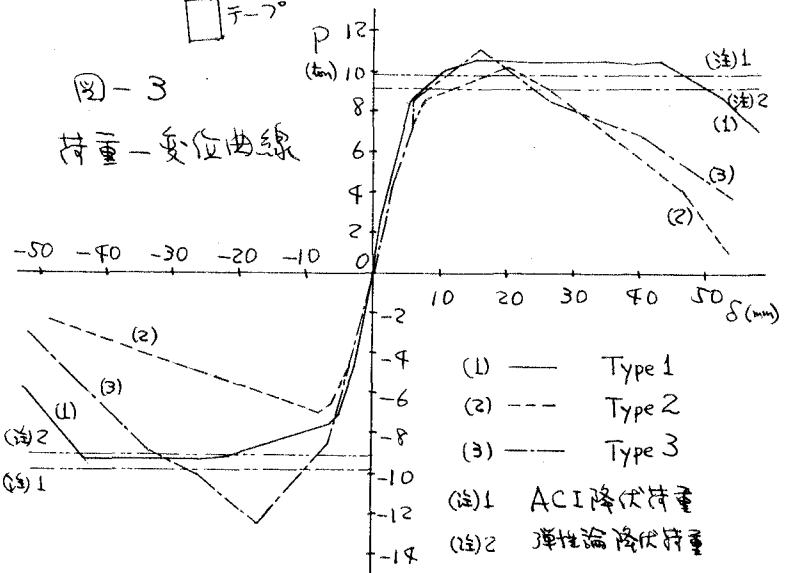


図-3

荷重-変位曲線



(3) Type 3

