

[116] 鉄筋コンクリート橋脚の復元力特性に関する基礎研究

正会員 ○睦 好 宏 史(埼玉大学工学部)
 正会員 町 田 篤 彦(埼玉大学工学部)

1. まえがき

地震のような動的外力を受ける鉄筋コンクリート構造物の研究及び解析は、今までに数多く行われ、報告されている。しかし、これらの研究では、動的外力を受ける鉄筋コンクリート構造物の基本的力学的性状は、静的外力を受ける力学的性状に基づいているのが現状であり、動的外力を受ける鉄筋コンクリート構造物の動的性状に関する実験および研究は比較的少なく、その振動性状も十分に解明されていない。このため、鉄筋コンクリート構造物の耐震設計、あるいは動的応答解析をよりの確に行うためには、動的外力下における鉄筋コンクリート構造物の力学的性状を明らかにする必要がある。

本研究は、鉄筋コンクリート構造物として単純な単一柱式橋脚をとりあげ、これを模した小型の供試体を用いて、静的正負繰返し載荷実験および強制外力振動実験を行い、両者における力学的性状を比較し、鉄筋コンクリート構造物の動的性状を解明しようとしたものである。

2. 実験概要

実験に用いた供試体は、単一柱式鉄筋コンクリート橋脚の躯体を対象として、図-1に示すように、断面が10×15cm、高さが100cmおよび60cmの2種類である。軸方向鉄筋比、帯鉄筋比は両供試体とも同一とし、既往の設計例を参照して、 $P_t=0.79\%$ 、 $P_w=0.09\%$ とした。使用したコンクリートは、粗骨材の最大寸法が10mm、圧縮強度は橋柱部およびフーチング部ともに $\sigma_c=280\text{kg/cm}^2$ 程度とし、先に橋柱部を打設し、その後フーチング部を打設した。

実験は、静的正負繰返し載荷実験および強制振動実験の2種類を行い、いずれの実験においても、供試体頭部に830kgの垂錘をその中心で自由に回転できるように緊結した。これによる断面の軸方向応力度は 5.5kg/cm^2 である。

静的実験では、頭部の水平変位が一定となるような水平力を正負10回繰返して与え、頭部水平変位、水平荷重、鉄筋の引抜量、ひずみ等を測定した。また所定の変位を10回繰返し与えた後、自由振動実験を行い、固有振動数、減衰等を測定した。

強制振動実験では、大型振動台を用い、振動数を一定にして、供試体頭部が所定の変位となるような振動台加速度を定め、正弦波として入力した。供試体の応答が定常状態になった時に、供試体頭部の絶対加速度、相対変位、振動台加速度、鉄筋引抜量およびひずみ等を測定し、所定の振動条件に対する測定が終了後、振動台を停止させて、自由振動実験を行った。測定したデータは磁気テープに入力し、 A/D 変換を行い、定常状態における波を10波長検出し、1波長を30等分割して処理した。

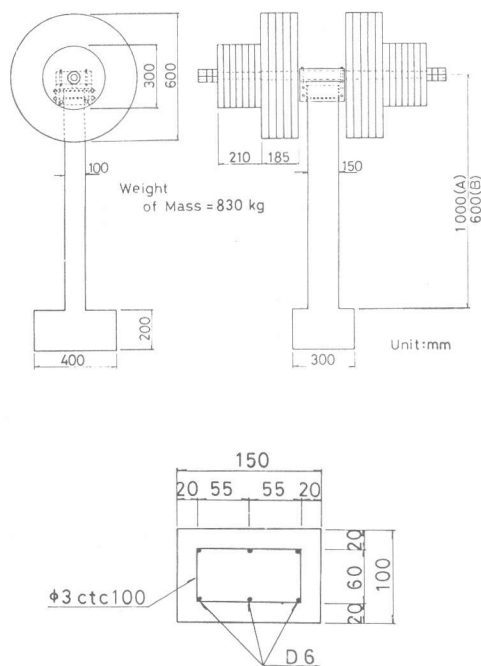


図-1 供試体の形状寸法

3. 静的正負繰返し加力を受ける場合の復元力特性

静的正負繰返し載荷実験で得られた履歴曲線の一例を図-2に示す。図から明らかなように、繰返し回数による荷重の低減が顕著であり、繰返し回数(N) = 10回目では、N = 1回目の同一変位における荷重の約80%程度である。N = 1回目とN = 10回目における履歴曲線の包絡線を示したのが図-4、5で、地震のように繰返し荷重を受ける鉄筋コンクリート部材の動的解析には、これら繰返し回数による剛性の低下を考慮する事が必要であると思われる。

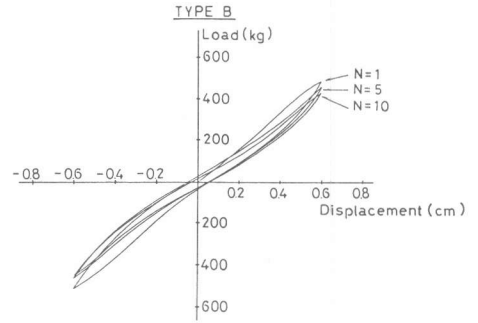


図-2 静的履歴曲線

4. 強制振動実験結果と静的実験結果との比較

(1) 動的履歴曲線と静的復元力の比較

図-1に示す供試体が、地盤に強制変位を受ける場合、振動台の加速度を \ddot{u} 、供試体頭部の振動台に対する相対水平変位を y 、供試体頭部の加速度を $(\ddot{u} + \ddot{y})$ とすると、運動方程式は次のようになる。

$$m\ddot{y} + f(y, \dot{y}; t) = -m\ddot{u} \quad m: \text{重錘の質量}$$

$f(y, \dot{y}; t)$ は供試体に作用する抵抗力で、一般には減衰力と復元力の和として表わされる。ここでは、 $f(y, \dot{y}; t) = -m(\ddot{y} + \ddot{u})$ なる量、即ち、減衰項による力と、復元力による力を動的抵抗力とし、供試体頭部の変位と、動的抵抗力によって定まる履歴曲線を動的履歴曲線と呼ぶことにする。

振動実験によって求めた動的履歴曲線と静的正負繰返し載荷実験によって求めた、N = 10回後の履歴曲線の一例を図-3に示す。両方の図からわかるように、ヒステリシスの形状は、同一変位において、動的履歴曲線における荷重の低減がみられるものの、ほぼ同一形状となっていると言える。このことは、動的外力を受ける供試体に作用する抵抗力は、静的実験によって求めた復元力にほぼ等しく、減衰によって生じる抵抗力はほとんど作用していないことを示唆している。なお、これに関しては(2)に述べる。

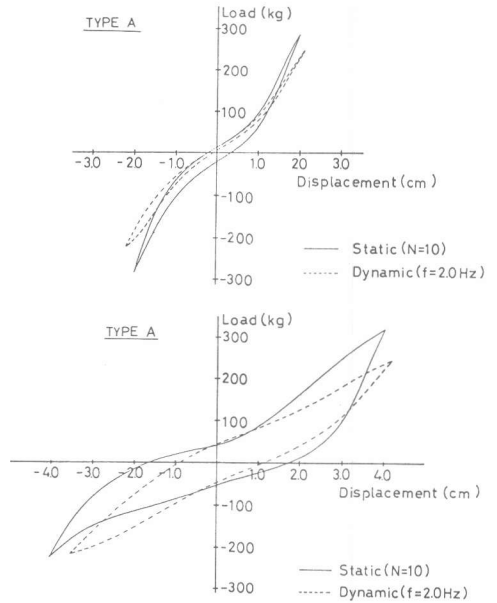


図-3 静的および動的履歴曲線

図-4,5は、各変位における動的履歴曲線のスケルトンカーブを示したものである。振動実験によって得られたスケルトンカーブは、静的実験によって求めたものより、同一変位における剛性が低減しているのがわかる。この理由として次のような事が考えられる。

① 振動実験では、供試体頭部が所定の変位に達するまでに数秒かかるため、それまでの繰返し回数による影響があらわれたためであると思われる。

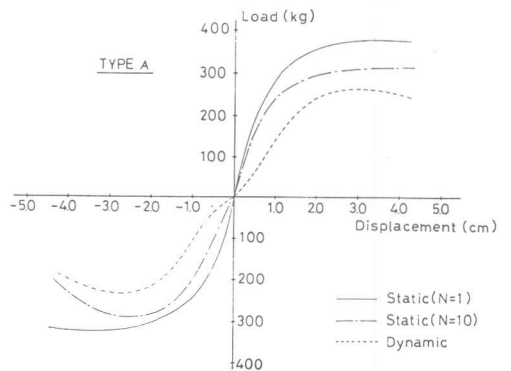


図-4 静的および動的包絡線(I)

◎静的実験では、ひびわれは橋柱部材軸に沿って、ある間隔をもって生じるが、強制振動実験では、橋柱部の根元付近にひびわれが生じると、その部分にのみ破壊が進展し、他の部分では静的実験に比べて損傷程度は軽い。

即ち、動的繰返し荷重を受ける場合、橋柱根元部における剛性の低下が著しく、これが上記のような結果が得られた大きな要因であると考えられる。このような単一柱式橋脚を動的解析する場合には、繰返し回数及び静的と動的における破壊形式の相違によって生じるスケルトンカーブの剛性の低下を考慮する必要があると思われる。

(2)減衰に関する考察

動的荷重を受ける鉄筋コンクリート構造物の減衰については、不明確な点が多く、未だ十分に解明されていない。一般に用いられている粘性減衰は、速度に比例した減衰力が生じるとするもので、このようにすれば、強制振動時における供試体の振動数に応じて、動的履歴曲線の形状は異なってくることになる。

本実験では、異なる振動数により強制振動を行い、供試体頭部が同一変位に達した時の動的履歴曲線を求めてみた。図-6は振動数が1 Hzおよび2 Hzの時、変位がそれぞれ3.0 cm、4.0 cmに達した時の履歴曲線の一例を示したものである。このように異なる振動数によって、同一変位を受けた場合における履歴ループはほぼ同一な形状を示し、振動数、即ち速度の違いによるループの変化はみられない。これを1サイクル当りの吸収エネルギーと最大ポテンシャルエネルギーの比、即ちエネルギー吸収率により履歴減衰定数(he)を算出すると、図-6に示すようになり、異なる振動数による減衰定数の明確な違いはみられない。即ち、本実験のように、動的荷重を受ける単一柱式供試体において、大変位を受ける場合には、速度に依存する減衰力は作用していないと思われる。しかしながら、弾性域、あるいは降伏域に達するまでの領域における減衰性については、今後さらに実験を積み重ねていく必要がある。

5. 鉄筋の引抜きについて

水平外力を受ける単一柱式橋脚の頭部の水平変位は、水平荷重によって生じる曲げ変形と、橋脚とフーチング部から鉄筋の抜け出しによって生じる回転による変形との和によって生じる事が確かめられている⁸⁾。

本実験では、静的正負繰返し荷重および動的荷重を受ける場合において、鉄筋の引抜き量を測定し、これを定量的に把握することを試みた。鉄筋の引抜き量の測定方法は図-7に示すように、鉄筋の引抜きが生じるとされる位置に変位計を図のように取り付け、この2つの変位計の伸縮量によって鉄筋の引抜き量を求めた。変位計の測定値の中には、鉄筋の引抜き以外によって生じる他の量(例えば、フーチング内に生じる橋脚の回転変位等)も含

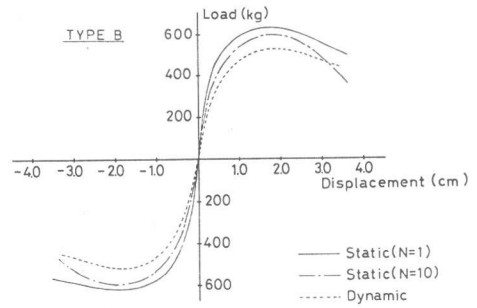


図-5 静のおよび動的の包絡線(II)

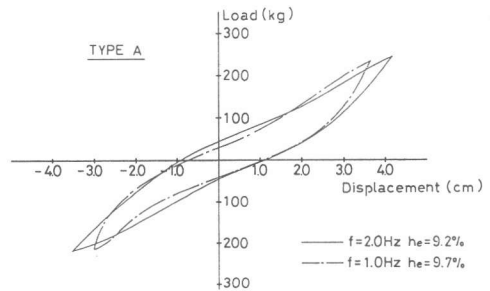
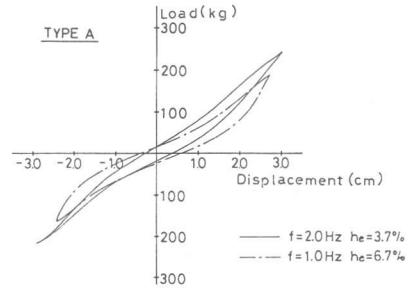


図-6 異なる振動数による履歴曲線の比較

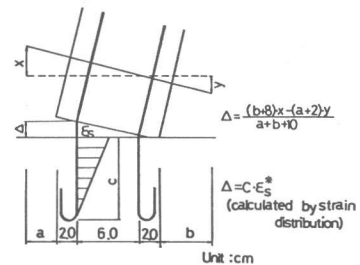


図-7 鉄筋引抜き量の求め方

まれる可能性があるので、次のようにして引抜量の検討を行った。即ち、鉄筋の各位置に貼ったゲージより、供試体頭部が所定の変位に達した時のひずみを測定し、フーチング部のひずみ分布を仮定して、図-7に示すようにして引抜量を求めた。この場合、フーチング内における鉄筋の定着端（フック折り曲げ部）の鉄筋のひずみはほとんど0に等しく、完全に定着しているものと思われる。

図-8に静的正負繰返し荷重および動的荷重を受ける場合の鉄筋の引抜量の履歴曲線を示す。図からわかるように、鉄筋に引張力が作用している時に引抜けが生じ、逆方向の荷重を受ける場合には、引抜量に相当する量はフーチング部に押込まれず、変位の増大とともに、すべての鉄筋が引抜けていく現象が測定された。また履歴曲線は静的、動的ともに同じ傾向を示している。

次に引抜量の履歴曲線の最大値を結んだスケルトンカーブと鉄筋のひずみ分布から求めた引抜量の計算値を図-9に示す。図に示すように、鉄筋の引抜量は変位の増大とともに、放物線を描くように増大し、それに伴い、供試体頭部の水平変位も大きくなることが推測される。

また、静的（N=10回）および動的荷重の相違は、同一変位において、鉄筋の引抜量にあまり影響を及ぼさないことがわかる。なお、鉄筋のひずみ分布から計算した引抜量は、変位計によって求めた値とかなりよく一致しており、定着部におけるひずみ分布が求められると、鉄筋の引抜量も容易に求められることがわかる。

6. まとめ

単一柱式鉄筋コンクリート橋脚の振動特性を、静的正負繰返し載荷実験および強制振動実験により明らかにしようとしたもので、本実験の範囲内で次のことが言える。

(1) 復元力を定める基礎となるスケルトンカーブは、繰返し回数による影響を顕著に受ける。また振動実験によって求めたスケルトンカーブは静的によって求めたものに比べて、同一変位における剛性の低下が認められた。

(2) 振動実験によって求めた動的履歴曲線は、静的履歴曲線（復元力）とほぼ同一のループ形状を示す。また減衰については、不明な点が多いが、降伏変位の1.5~2.0倍程度の変位を受ける場合には、速度に依存する減衰力はほとんど生じていないと思われる。

(3) 供試体頭部が同一変位を受ける場合では、静的（N=10回）と動的では鉄筋の引抜量はほぼ同じであると言える。また、定着部における鉄筋のひずみ分布を仮定して求めた引抜量は、実測値と良く一致することが確かめられた。

本研究は、昭和55年度科学研究費補助金（課題番号585016）により行ったものである。また、研究の実施にあたっては、元埼玉大学生 久保秀和君（現 新日本技術コンサルタント）小谷秀宏君（現 鴻池組）に御協力を頂いた。ここに記して謝意を表します。

（参考資料）* コンクリート構造物（橋脚、橋台）耐震設計法 土木研究所資料第1284号

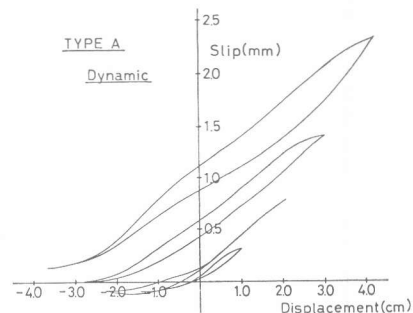
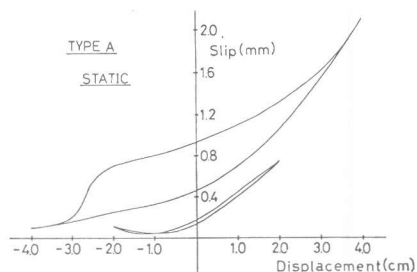


図-8 鉄筋の引抜量履歴曲線

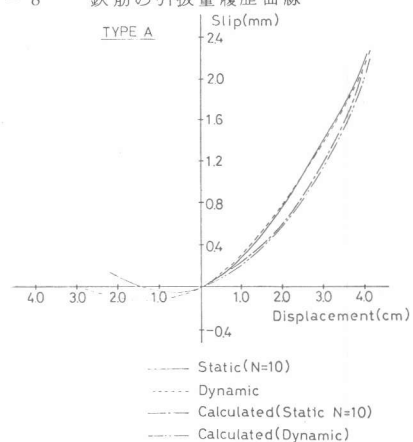


図-9 鉄筋引抜量包絡線