

## (19) コンクリート充填鋼管連続ばりの動的挙動について

IMPULSIVE BEHAVIOR ON CONCRETE-FILLED TUBULAR  
STEEL CONTINUOUS BEAM REINFORCED WITH TENDON

吉田 博\*・澗上 正浩\*\*・塩見 昌紀\*\*\*・前川 幸次\*\*\*\*

Hiroshi YOSHIDA, Masahiro FUCHIGAMI, Masanori SHIOMI and Koji MAEGAWA

\*工博 (株) エイ・シー・デイ 代表取締役社長 (〒939-1362 富山県砺波市太郎丸3903番地)

\*\* (株) エイ・シー・デイ 設計課長 (〒939-1362 富山県砺波市太郎丸3903番地)

\*\*\* 日本ゼニスパイプ(株) 開発部長 (〒103-0004 東京都中央区東日本橋2-24-14)

\*\*\*\* 工博 金沢大学教授 工学部土木建設工学科 (〒920-0942 石川県金沢市小立野2-40-20)

キーワード：靱性，エネルギー吸収能，充填鋼管，連続ばり，動的挙動

(ductility, energy absorption, concrete-filled tubular steel, continuous beam, impulsive behavior)

## 1. はじめに

近年、橋脚や建築構造物にコンクリート充填鋼管構造を採用するケースが増えている。それは、鋼管とコンクリートの合成効果により部材剛性が向上するだけでなく、それらの相互効果によって鋼管の局部座屈やコンクリートの圧潰が妨げられ、高強度・高靱性となり、エネルギー吸収能が高く、耐震性能に優れた部材となるからである。また、物体が直撃するような構造物においては、鋼管にコンクリートを充填することによる効果が著しいことも報告されている<sup>1)2)</sup>。

過去にコンクリート充填鋼管を落石防護柵の支柱に使用することを目的として、コンクリート充填鋼管単純ばりの静的および落錘式衝撃載荷試験が行われている。この実験の結果、コンクリート充填鋼管ばりの引張側に適量のアンボンド PC 鋼棒を配置し、部材両端で定着させたものが耐荷力、エネルギー吸収能に優れていることが確認されている<sup>3)</sup>。

一方、ロックシェッドの設計方法として、使用限界状態に対する弾性理論に基づく許容応力度法とともに、荷重の特性を反映した塑性理論に基づいた終局強度設計法との2段階設計が合理的である<sup>4)</sup>とされている。すなわち、ロックシェッドの耐用期間中に、比較的しばしば発生する落石規模に対しては、許容応力度法による使用限界状態の検討を行い、まれに生じるような大きい落石規模に対しては、終局状態に対する安全性の照査を行う設計法である。

また、落石荷重の推定の困難さは、自然現象に起因するもののほかに、落石を受ける構造物の挙動にも影響される。すなわち、落石がたわみ性の大きい構造物に落下した場合と、剛性が大きいたわみ性の小さい構造物に落下した場合とでは、発生する衝撃力と構造物の挙動に大きな差異が考えられる。このようなことから、荷重に基づく設計法は合理性を欠く可能性があり、エネルギー的観点からの設計法が合理的であるとされてきた。そこで、前述のコンクリート充填鋼管をロックシェッド部材として用いた場合、エネルギー吸収能に優れたロックシェッドの設計が可能になると考えられる。

本研究は、逆L形式ロックシェッドのはりおよび柱部材に、コンクリート充填鋼管を使用することを主目的として、1部材で正および負の曲げモーメントを生じさせる2径間連続ばりにおいて落錘式衝撃載荷試験を実施し、過去に行った静的載荷試験結果<sup>5)</sup>と対比することにより、その挙動特性とエネルギー吸収能に対する検討を行った。

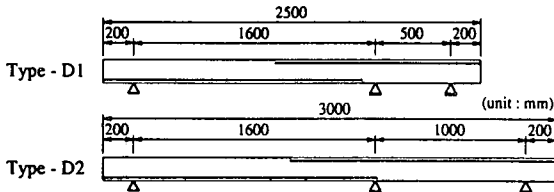
## 2. 実験概要

## 2.1 供試体

供試体は側スパンを変化させた2種類とし、それぞれ2本ずつ製作した。図2.1に供試体の形状寸法を示す。

供試体にはφ139.8×4.5(STK400)の鋼管にアンボンド PC 鋼棒φ13(C種1号)を配置し、プレミッ

クスタイプのコンクリートを充填した。また、PC 鋼棒は部材の引張側に配置し、両端をプレートとナットにより定着させている。なお、PC 鋼棒には初期引張力は与えていない。表2.1に鋼管と PC 鋼棒の機械的性質を示す。また、供試体製作時にはテストピースを採取し、実験日に圧縮強度試験を行った。表2.2は実験時のコンクリートの圧縮強度を示したものであり、平均圧縮強度は  $46.4\text{N/mm}^2$  であった。



供試体名	載荷スパン(m)	側スパン(m)
Type-D1	1.600	0.500
Type-D2	1.600	1.000

図2.1 供試体形状図

表2.1 鋼管およびPC鋼棒の機械的性質

品名・寸法	降伏点 ( $\text{N/mm}^2$ )	引張強さ ( $\text{N/mm}^2$ )	伸び (%)
鋼管： $\phi 139.8 \times 4.5$ (STK400)	326	413	39
PC 鋼棒：SBPR1080/1230 $\phi 13$ (C種1号)	1386	1454	12

表2.2 コンクリートの圧縮強度

回数	1	2	3	平均
圧縮強度 ( $\text{N/mm}^2$ )	52.0	46.4	40.8	46.4

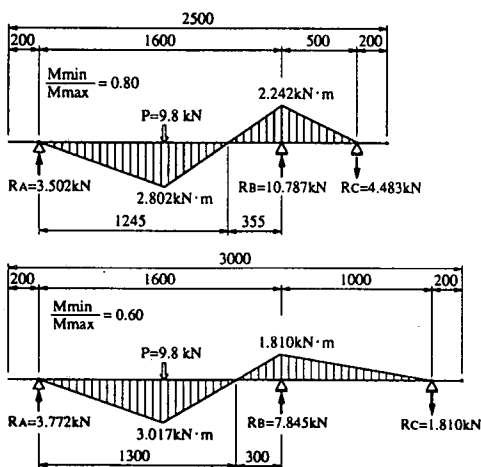


図2.2 単位荷重載荷時の弾性曲げモーメント図

連続ばりの載荷実験では、載荷荷重によって生じる正負の曲げモーメントの割合が異なる場合の部材特性の相違を確認するため、図2.2に示すように載

荷スパンを一定にし、側スパンを2種類変化させて実験を行った。

なお、PC 鋼棒の配置は、曲げモーメントの正負が逆になる位置を中心に片側 20cm ずつ、計 40cm の区間において上下の PC 鋼棒が重複する配置とした。

## 2.2 実験装置

図2.2に実験装置の概要を示す。載荷板の上部にはロードセル、半円柱状の被打撃部がセットされている。重錘は鋼板と鋼塊をボルトと溶接で一体化したもので、それは2本の鋼管柱をガイドとして最大落下高さ 4m からほぼ自由落下する。重錘重量は 19.4kN とした。

測定項目は、重錘加速度、載荷点荷重、側スパン端支点反力、載荷点変位、側スパン中央変位、鋼管および PC 鋼棒の各所の軸方向ひずみとし、測定されたアナログ信号を増幅し、0.05msec 間隔でデジタル量として記録した。

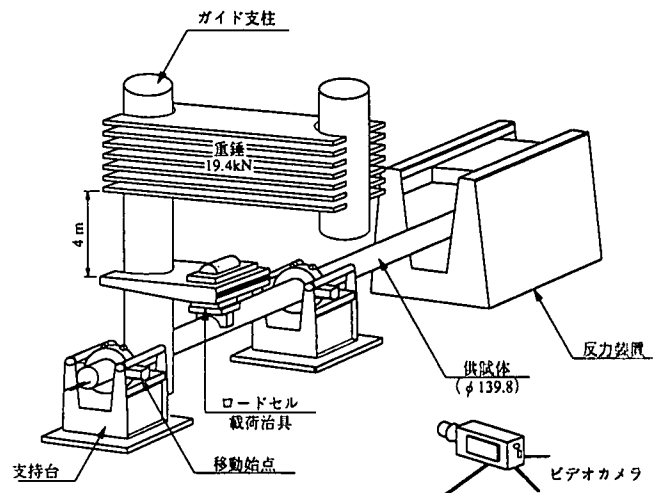


図2.2 落錘衝撃試験装置

## 3. 実験結果及び考察

図3.1は、各タイプの代表的な試験体について衝撃力-時間関係を示したものである。Peak 値は計測された最大値ではあるが、試験体の最大耐力と考えるのは妥当ではない<sup>1)</sup>。Type-D1 の供試体では、30msec まで 260kN の荷重を保持しているが、その後は約半分程度の荷重 100kN で 130msec まで推移し、それ以後は緩やかに荷重は消滅している。また、供試体 Type-D2 についてもほぼ同様の波形を示し

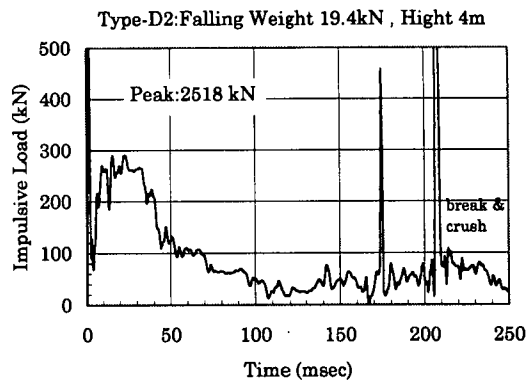
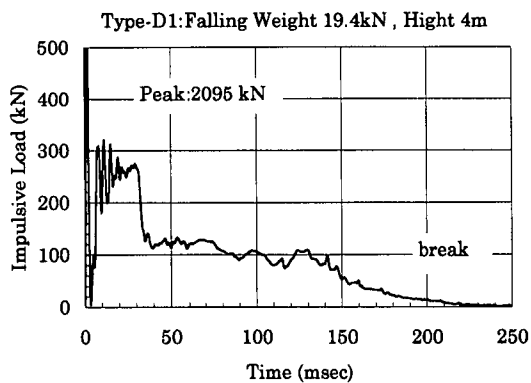


図3.1 衝撃力-時間関係

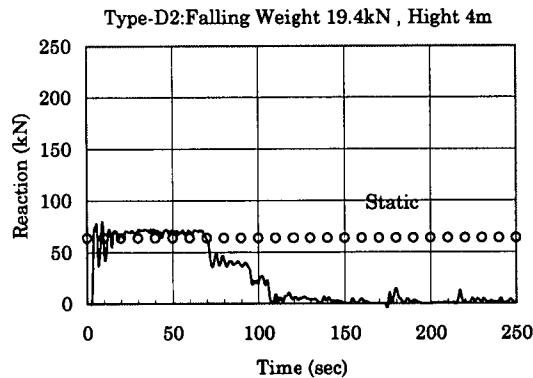
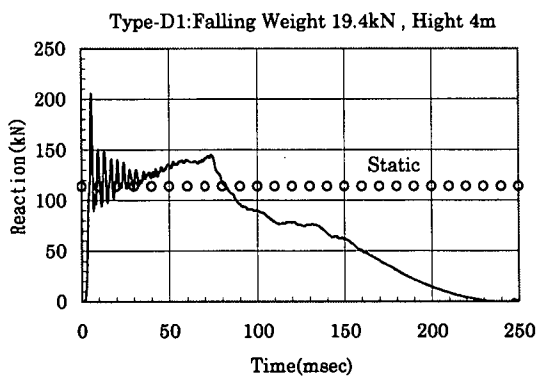


図3.2 側スパン端支点反力-時間関係

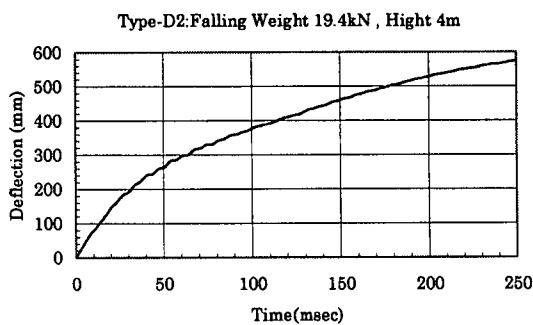
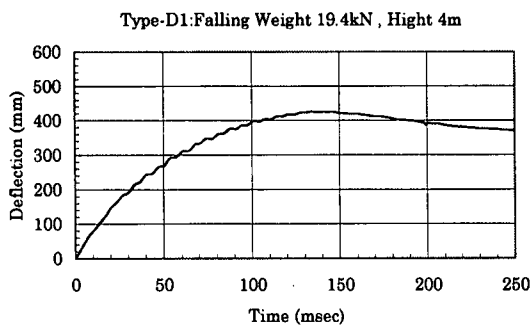


図3.3 載荷点変位-時間関係

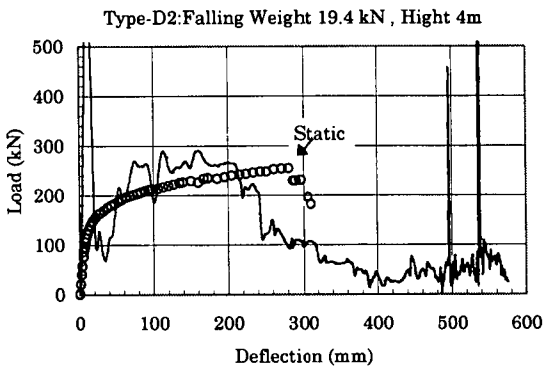
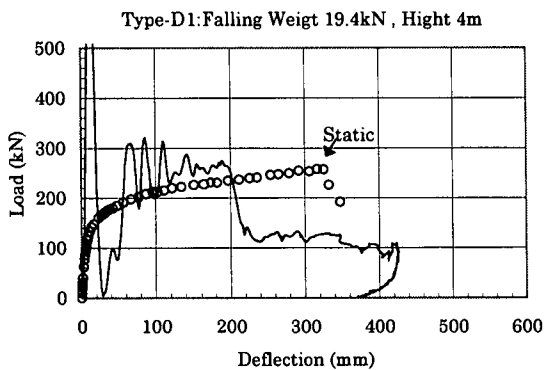


図3.4 衝撃力-載荷点変位関係

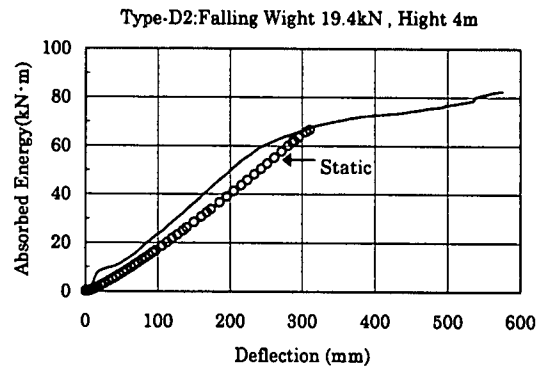
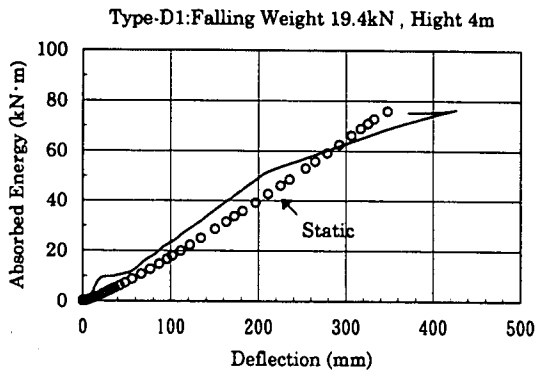


図3.5 吸収エネルギー—載荷点変位関係

ているが、荷重を保持している時間は Type-D1 に比較して短い。なお、170msec 付近で衝撃力が急激に増加している理由は、鋼管が破断し耐力を失ったため、供試体が接地したことを表している。理論的に連続ばりでは、側スパンが短くなるほど最大荷重は大きくなる。しかし、本実験の範囲内ではその差は小さく、側スパンの短い Type-D1 と側スパンの長い Type-D2 との最大荷重はほぼ同程度である。30msec 程度で荷重が下がった原因は、重錘がリバウンドしたためではないかと思われる。

図3.2に側スパン端支点反力—時間関係を示す。図中、○印は静的載荷試験結果の値である。実験結果は、静的載荷試験結果とよく一致している。また、荷重は、載荷点の衝撃力に比較して若干遅れて立ち上がっている。

図3.3に載荷点変位—時間関係を示す。Type-D1 は、135msec で最大変位に達し、その後緩やかに変位が減少している。これは、供試体が完全破断しなかった理由による。一方、Type-D2 は、完全破断したため変位は増加し続けている。

図3.4には、図3.1の衝撃力—時間関係と図3.3の載荷点変位—時間関係から時間軸を消去して得られる衝撃力—載荷点変位関係が実線で示されている。また、各々の曲線の変位軸に関する積分値（吸収エネルギー）と変位の関係を図3.5に示す。図中、○印は、対応する静的載荷試験結果である。

Type-D1 の供試体は、変位 200mm 程度までは静的試験結果とよく一致しているが、200mm を超えた時点から荷重が半分程度に下がっている。これは前述したとおり、供試体が完全破断しなかったことにより重錘がリバウンドしたことによる。よって、エネルギー吸収能としての限界変位は、400mm 程度と考えられる。このときの吸収エネルギーは、

76kJ·m であり、静的載荷試験結果とほぼ同値となった。

一方、Type-D2 の供試体は、変位 240mm 程度までは静的試験結果とよく一致しているが、240mm を超えた時点から荷重が半分程度に下がり、その後、緩やかに減少している。この供試体は完全破断しており、重錘のリバウンドはなかったものと推測される。この供試体のエネルギー吸収能としての限界変位は 300mm 程度と考えられる。このときの吸収エネルギーは、66kJ·m であり、静的載荷試験結果とほぼ同値となった。

#### 4. あとがき

本研究は、逆L型式ロックシェッドのはりおよび柱部材に、コンクリート充填鋼管を使用することを主目的として、2 径間連続ばりにおいて落錘式衝撃載荷試験を実施した。

その結果、落錘式衝撃載荷試験における吸収エネルギーは、静的載荷試験のものと同様であり、静的曲げ挙動から衝撃吸収エネルギーの評価が可能であることがわかった。

#### 参考文献

- 1) 伊藤一雄, 他: モルタル充填鋼管はりの衝撃限界吸収エネルギーに関する実験的考察, 構造工学論文集, Vol.37A, pp.1581-1589, 1991.
- 2) 伊藤一雄, 他: コンクリート充填鋼管はりの衝撃限界吸収エネルギーに関する解析的考察, 構造工学論文集, Vol.38A, pp.1553-1563, 1992.
- 3) 前川幸次, 他: コンクリート充填鋼管はりの静的および重錘衝撃実験, 土木学会論文集, No.513/I-31, pp.117-127, 1995年4月.
- 4) 吉田博, 他: 落石覆工の設計の現状と合理的設計へのアプローチ, 土木学会論文集, 第421号/VI-13(研究展望), pp.213-222, 1990年9月.
- 5) 上村浩茂, 他: コンクリート充填鋼管連続ばりの載荷実験とロックシェッド設計への応用, 構造工学論文集, Vol.44A, pp.1575-1585, 1998年3月.