

落石防護擁壁等に設置される支柱の静的挙動に関する基礎実験

Basic experiment on static behavior of H-beam implanted in rockfall prevention-wall

(株)砂子組	○正員	近藤里史 (Satoshi Kondou)
(株)砂子組	非会員	山元康弘 (Yasuhiro Yamamoto)
(株)砂子組	正員	田尻太郎 (Taro Tajiri)
室蘭工業大学	正員	小室雅人 (Masato Komuro)
室蘭工業大学	フェロー	岸 徳光 (Norimitu Kishi)

1. はじめに

わが国では、高度経済成長期などに急傾斜地近くまで宅地開発が進み、また道路が急崖斜面に沿って建設されてきた経緯があるが、近年の異常気象により集中豪雨による災害が各地で発生している。

急峻な沢には土石流防止として、従来から多くの堰堤が設けられてきたものの、経年によって満砂状態となり、さらに土石流発生時には流木や巨石も流下するため、堰堤上に鋼製支柱を親柱とする防護柵を設置する例も多数見られる。また急崖地道路では落石防護擁壁の天端に、堰堤と同様に落石防護柵が設置されている。

このような堰堤や落石防護擁壁は通常重力式の無筋コンクリート構造であり、鋼製支柱は無筋コンクリートに箱抜き設置されるのが普通である（図-1）。鋼製支柱には土石流だけでなく落石の衝突も高い確率で想定され、ことより、堰堤あるいは擁壁が無筋であることを考えると、支柱近傍部のコンクリートが剥落し、柵が機能を喪失されることも想定される（図-2）。

現行設計は落石対策便覧に基づいて行われている。落石衝撃力を静荷重と仮定し、許容応力度を越えないことを設計の基本とするが、設計計算の際に重要なファクターになると考えられる支柱の根入れ長に関する規定等は、特に明記されていないのが現状である。

落石防護擁壁本体の防護性能に注目した実物大模型を用いた実験(図-3)は従来からも行われてきたが、天端部支柱の詳細な静的／動的挙動に注目した実験は少ないものと思われる。本実験は静的載荷実験であるが、本実験に先立ち、衝撃荷重載荷時の支柱の最適な根入れ深さや最適かぶりに関する評価を目的とした衝撃荷重載荷実験を実施している。

通常の設計が、動的荷重を静荷重として扱えると仮定して行われることを考慮し、ここでは衝撃荷重載荷実験で得られた結果との比較を行う。

2. 実験概要

防護柵の支柱には H200×100 程度の H 形鋼を通常用いるが、試験体規模が大きいと詳細測定が逆に困難になると考え、H100×100 程度のものを用いることとした。

図-4 に実験供試体の平面図および正面図を示す。コンクリート躯体の寸法は $1300 \times 700 \times 400$ で、その中心に長さ 2400 の $H100 \times 100 \times 6 \times 8$ を貫通させた。図中の赤丸と矩形は変位と歪み測定位置で、根入れ長等の妥当

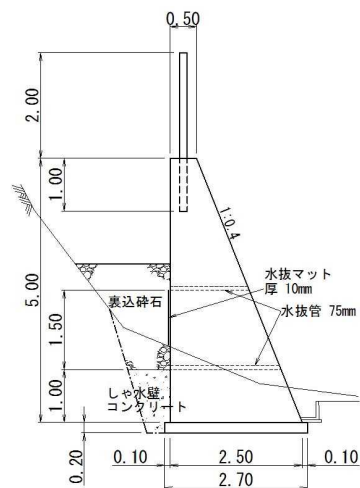


図-1 防護柵付き落石防護擁壁



図-2 巨石、落石による破損例



図-3 落石防護擁壁性能試験

な評価を行うために H 鋼を躯体に貫通させた。

歪みゲージは H 鋼のフランジに接する形でウェブの上下端に貼付した。供試体は $\phi 50$ シース管に通したボルトによって水平面に固定した。杭頭側躯体天端から 600 mm の範囲はフリーである。載荷は支柱先端より 200 mm の位置で行い、ウェブに垂直補剛材を溶接している。図-4 に示す載荷点位置を、鉛直上方からジャッキで加圧することにより静的載荷を実施した。

固定部の D19、D10 の補強筋は、載荷時における無筋コンクリートの破壊を防ぎ、拘束効果を保つために配置した。図-4 に示した仮想地盤面より上の範囲では、上下方向の D10 と D19 のみ配置したが、これは供試体搬入時に起こり得る無筋コンクリートのひび割れ防止のためである。同図正面図の寸法より、載荷時に H 形鋼付け根部のフランジから 45 度のせん断破壊面が形成される場合においても、補強筋はせん断面に干渉せず、無筋状態と同等と考えられる。なお、コンクリートの圧縮強度は、圧縮試験の結果 34.6 N/mm^2 である。

本実験に先立つ衝撃荷重載荷実験（以後、動的）により、杭頭への荷重 30～35 kN の範囲で、図-4 に示した $\text{H}100 \times 100 \times 6 \times 8$ の支柱がコンクリート躯体天端付近で塑性ヒンジを形成し、降伏状態に至ることが明らかになった。そのため、降伏荷重 30～40 kN 程度を想定した静的載荷実験を行い、後述する供試体下面に発生したクラックが供試体側面に達した時点で載荷を終了した。

3. 実験結果-1 降伏荷重

動的載荷実験では、質量 300 kg の重錘を $h=0.5, 1.0, 1.5 \text{ m}$ の高さから鉛直落下させた。載荷点は静的と同一である。得られた重錘衝撃力を図-5 に、静的 P- δ 曲線を図-6 に示す。図-5 の横軸は時間(ms)であり、図-6 のそれは載荷点変位(mm)である。

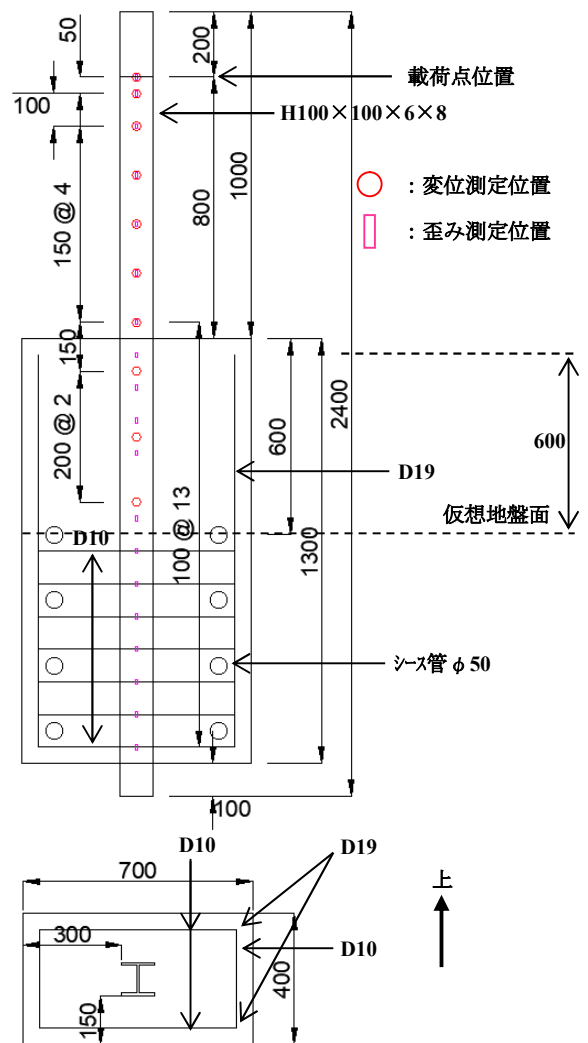


図-4 実験供試体 平面図, 正面図

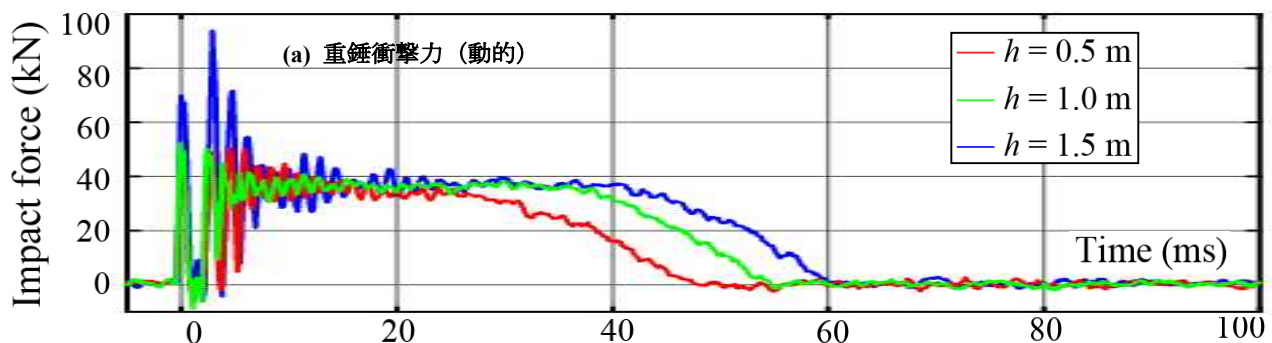


図-5 重錘衝撃力 (動的)

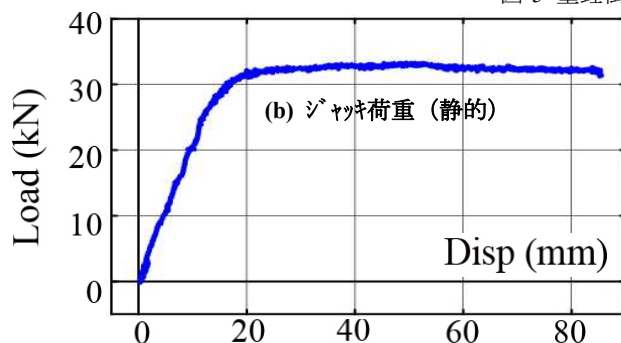


図-6 ジャッキ荷重 (静的)

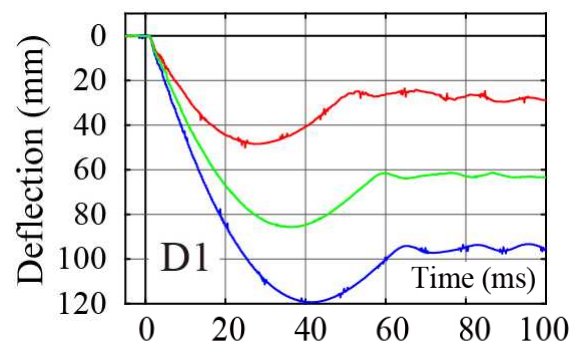


図-7 載荷点変位 (動的)

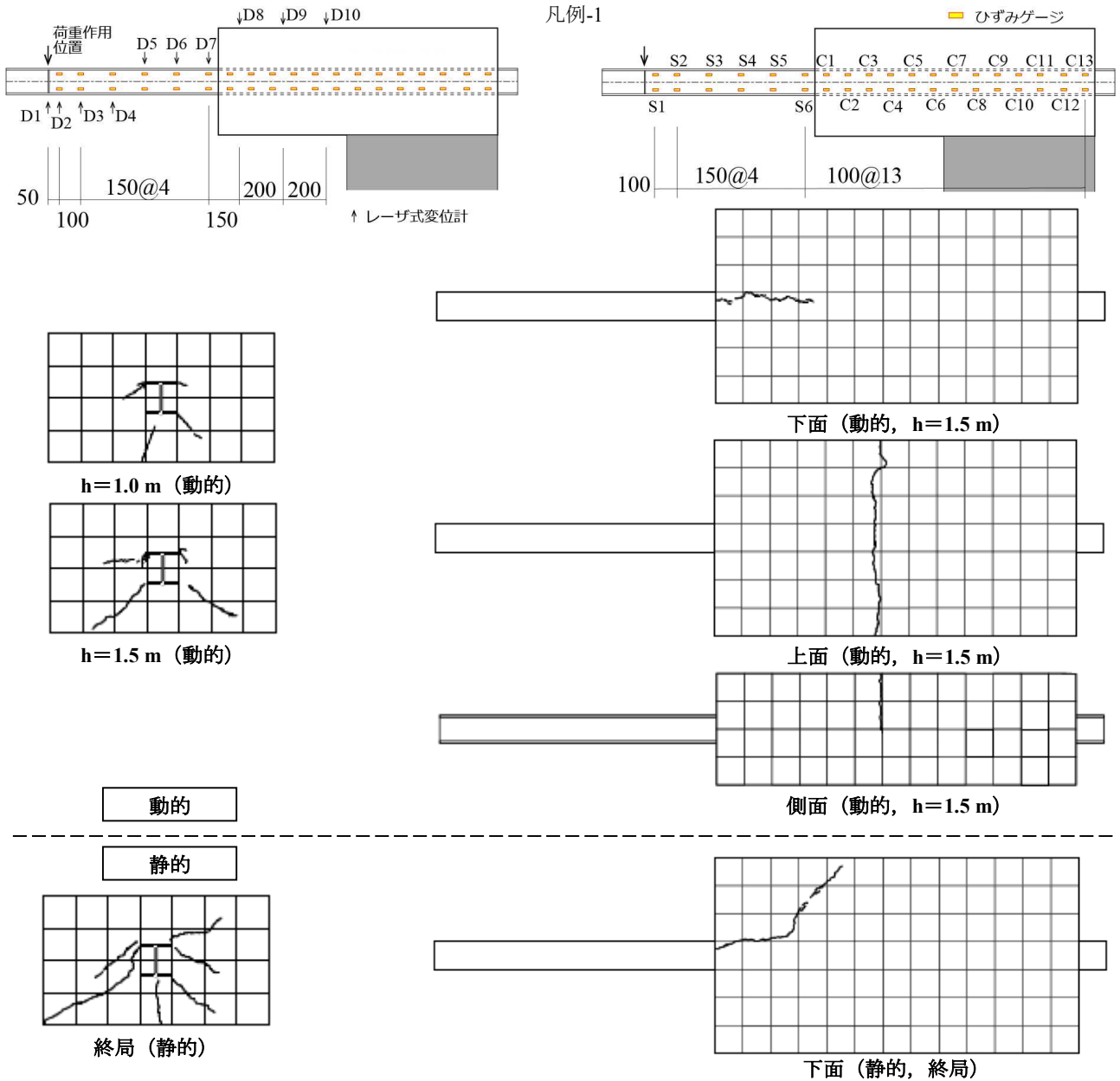


図-8 クラック図



写真-1 動的载荷試験

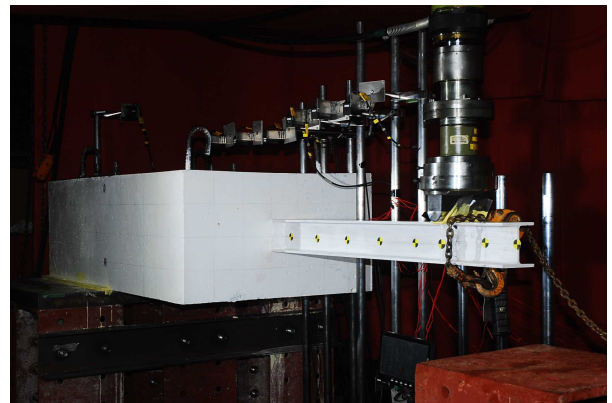


写真-2 静的载荷試験

重錘衝撃力の最大値は 20 ms 付近で 35 kN 程度である。一方、静的载荷では概ね 35 kN 程度で降伏状態にあり、両者はほぼ一致することが明らかになった。

4. 実験結果-2 载荷点変位

図-7 に動的実験における载荷点変位を示す。変位計と歪みゲージ名称は凡例-1。図中のラインの色は、図-5 と同様である。

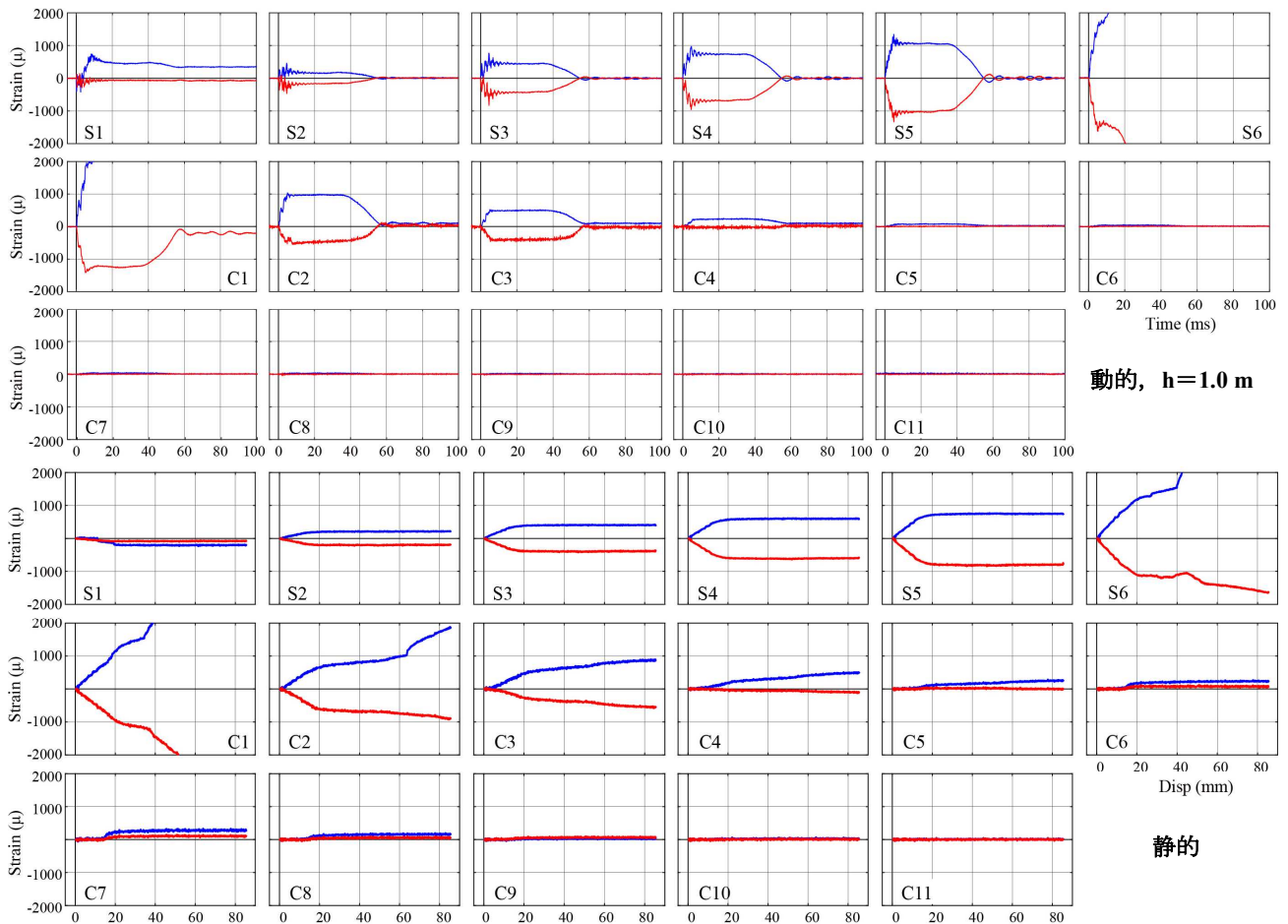


図-9 歪み分布

動的載荷では $h=1.5\text{ m}$ 落下で最大 120 mm の変位となるが、 $h=1.0\text{ m}$ では 85 mm 程度である。静的載荷の図-6 では、終局変位は 90 mm 程度。図-8 に示すように、動的 1.5 m 落下では図-4 の仮想地盤面付近で供試体が割れる結果となったが、供試体下面のクラックは静的と似た性状であったことより、静的終局状態（供試体は割れていない）が動的な 1.0 m 落下と 1.5 m 落下の中間に相当するものとすれば、終局変位も動的と静的でほぼ一致することとなる。

5. 実験結果-3 クラック性状

躯体天端部のクラックは、動的・静的いずれもせん断破壊型である。ただし、静的載荷では力が分散されるため、動的載荷の落下高さ 1.5 m に近くなっている。その影響は下面クラックから判断すると、動的・静的いずれも天端から 400 mm 程度の範囲で、幅は長手方向に直線的であるものと推察される。

6. 実験結果-4 歪み分布

図-9 の静的結果では、鋼材の降伏は載荷点変位が約 50 mm で（S4, C1 付近）開始され、終局は 4. から 90 mm 程度であり、動的載荷の落下高 $0.5\sim 1\text{ m}$ に相当する。供試体が割れなかった範囲で動的 1 m 落下と静的結果を比較すると、いずれの場合も躯体天端（S4, C1 付近）で鋼材が降伏し塑性ヒンジを形成している。

先に述べた天端破壊の影響範囲は、歪み分布からも 4

付近（天端から約 400 mm ）に達すると判断できる。これは、動的終局 $h=1.5\text{ m}$ 落下と静的終局の下面クラックの走行とも一致する。

7. まとめ

動的載荷実験と静的載荷実験結果を以下の項目で比較した。

- 1) 降伏荷重
- 2) 終局変位
- 3) 破壊性状およびその影響範囲
- 4) 歪み分布

いずれの項目においても、限られた条件下ではあるが、動的結果と静的結果は良い一致を見せた。

鋼支柱が埋設された無筋コンクリート躯体の衝撃挙動を静的設計でカバーできる可能性は、十分あるものと推察される。

謝辞

本論文の作成にあたり各種試験計測、データ解析等多くの支援を賜った室蘭工業大学くらし環境系領域構造力学研究室の皆様には心より謝意を表する。