

落石による擁壁背面衝撃土圧に関する一考察

A STUDY ON THE IMPACT PRESSURE BEHIND THE ROCK SHED WALL

松葉美晴*、園田佳巨**、彦坂熙***、佐藤彰****

Yoshiharu MATSUBA, Yoshimi SONODA, Hiroshi HIKOSAKA, Akira SATOH

*技術士 有限会社松葉デザイン事務所 代表取締役(〒950-0127 新潟県中蒲原郡亀田町諏訪3-6-34)

**工博 九州大学大学院工学研究院 助教授(〒812-8581 福岡市東区箱崎6-10-1)

***工博 九州大学大学院工学研究院 教授(〒812-8581 福岡市東区箱崎6-10-1)

****正会員 日本サミコン株式会社 本社技術部(〒950-0925 新潟市弁橋通1-8-23)

キーワード: 落石防護擁壁, 衝撃土圧, 重錘落下実験

(Rock shed wall, Impact pressure, Falling weight test)

1. 緒言

これまで、敷砂緩衝材を介してロックシェッドに作用する落石衝撃力の算定には、いくつかの計算式が提案されてきたが、一般には落石対策便覧に示されているヘルツの弾性接触理論を落石と敷砂の間に適用することで誘導された、いわゆる落石対策便覧式(以後、便覧式と称する)が用いられることが多い。その大きな理由として、その他の計算式は、構造物側の剛度や変形などを考慮した特殊な条件下にのみ適用されるものであったり、限られた実験範囲内で誘導されたものであるために、任意の設計条件に適用しづらいことに起因しており、多少の問題を残していても便覧式の方が種々の条件に対して適用しやすいことによると考えられる。

しかし、便覧式は緩衝材の砂を半無限弾性体として導かれており、実現象を反映したものであるとは言い難い。したがって、敷砂を介して実際の構造物に伝達する落石の衝撃力は、敷砂底面および擁壁背面いずれの方向に関しても実設計に用いるためには、補正係数を乗じる必要がある。

本研究では、実物大の落錘式衝撃実験結果をもとに、ロックシェッド屋根上の敷砂擁壁背面への伝達衝撃力の特性について検討するとともに、実験結果を踏まえた評価方法を提案するものである。

2. 落石による衝撃土圧に関する理論的考察

2.1 地中を伝播する土圧の評価式の概要

敷砂を介して伝達する落石の衝撃土圧の算定に利用可能な式として、幾つか挙げられる。例えば、「建築基礎構造計算基準・同解説」¹⁾によると、地表面に集中荷重が作用した場合、図-1に示すように地中壁面の任意点における水平土圧を式(1)で評価することに規定されている。

$$\Delta P_{oc} = \frac{3 \cdot P_v \cdot x^2 \cdot z}{\pi \cdot (r^2 + z^2)^{\frac{5}{2}}} \quad (1)$$

ここに、 P_v : 地表面に載荷される集中荷重(t), r : 荷重作用点から壁面までの水平距離(m), z : 荷重作用点から壁面までの水平距離(m), x : 荷重作用点から壁面までの最短距離(m)

ただし式(1)には、①地中壁の変形は考慮しない、②壁面に平行方向のせん断力は考慮しない等の仮定が設けられている。

一方、フローリッヒの地中応力算出式を用いると、底面土圧を以下の式(2)により求められる。

$$S(t) = 2\pi \int_0^{r_{max}} r \cdot s(t, r) dr \quad (2)$$

ここに、 r_{max} : 重錘落下中心位置からの積分範囲(m), r : 重錘落下中心位置からの距離(m), $s(t, r)$: 時刻 t における重錘落下中心位置から距離 r の位

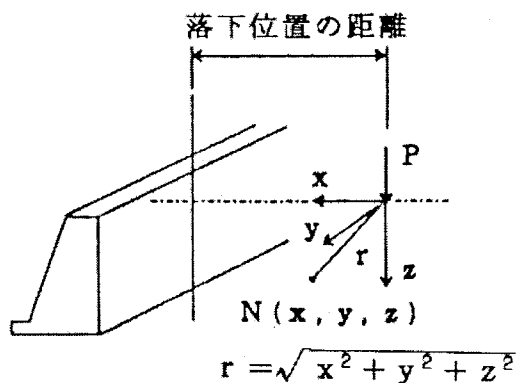


図-1 擁壁に作用する土圧

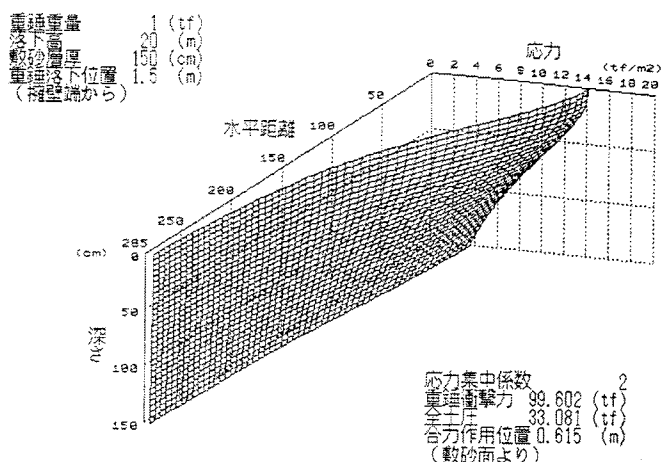


図-2 フローリッヒの式による水平衝撃土圧
(重錘重量1tf, 落下距離1.5m, 応力集中係数2)

置の底面土圧 (tf/m²)

本研究では、フローリッヒの地中応力算出式を適用し、重錘落下衝撃実験結果との比較を通して擁壁背面土圧の推定方法について検討を行った。

2.2 フローリッヒの式を用いた衝撃土圧の評価法

土槽内に一定間隔で配置された土圧計により計測された水平衝撃土圧を、フローリッヒの式により評価することを試みた。すなわち、図-1および式(3)で示されるフローリッヒの式(任意点の地中応力 σ_z を評価)により、実験データを再現可能な応力集中係数 ν を求めた。

$$\sigma_z = \frac{\nu}{2\pi} (\cos\phi)^{\nu+2} \frac{P}{z^2} \quad (3)$$

ここに、 ν ：応力集中係数、 P ：重錘落下位置に作用する集中荷重 (tf)、 z ：敷砂層厚 (m)

図-2は、応力集中係数 ν を2と仮定し、式(3)に示すフローリッヒの地中応力算出式を用いて求めた背面全土圧の計算例(重錘重量1tf, 落下高さ20m, 落下位置から擁壁までの距離1.5m)を示したものである。この図より、フローリッヒの地中応力算出式を適用することで、擁壁に作用する水平衝撃土圧分布を容易に推定できることが認められる。

3. 重錘落下衝撃実験の概要

本実験は、従来はあまり検討がなされていなかったロックシェッドの擁壁背面のポケット部に

落石が落下した場合の擁壁背面に作用する土圧の分布特性について検討するために実施したものである。実験は、図-3に示すような6m四方の土槽を基礎コンクリート上に設置し、敷砂厚を90, 120, 150cmの3通りに変化させ、3種類の重錘(重量1.0, 3.0, 5.0tf)を土槽中心部および擁壁から1.5, 2.0mの2箇所に落下させたときの重錘加速度、敷砂層底面および背面土圧、擁壁の変位および擁壁に作用した荷重等を測定した。なお、擁壁に作用する土圧については、①擁壁の鉛直面に配置された計7個の土圧計、②PC鋼棒で緊結固定されたロードセルの2種類の計測器により、それぞれ背面土圧分布および擁壁全体に作用する全土圧に対する反力について調べた。

4. 衝撃実験結果および考察

図-4(a), (b)は、それぞれ重量3tf, 5tfの重錘が、擁壁から1.5mの位置に落下したときの背面土圧の測定波形の一例を示したものである。この図より、実験により得られた土圧分布は滑らかな曲線には程遠いものであることがわかる。この理由としては、敷砂の締め固まり状態が均一ではないことや、発生土圧が計測に用いた土圧計の定格値に対して非常に小さい値のためノイズ等の混入の影響を大きく受けた等の理由が考えられる。ここでは、擁壁に作用する全土圧を主体に考察を行った。

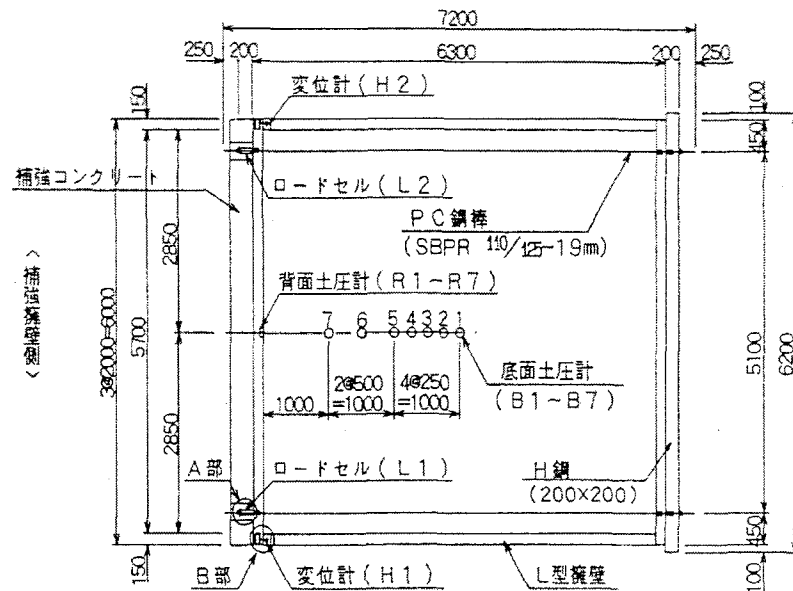
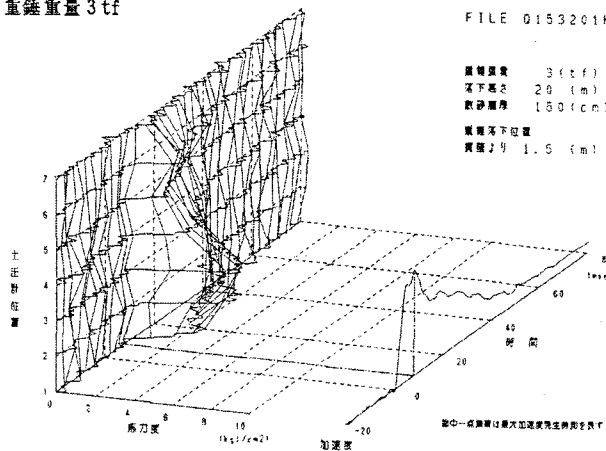


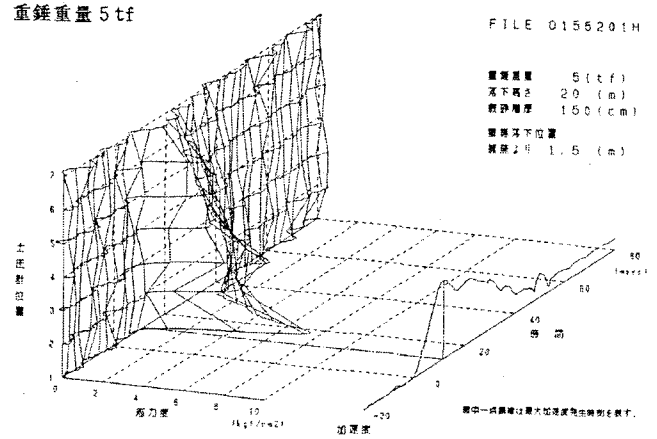
図-3 実験土槽および計測器の設置状況

重錘重量 3tf



(a) 重錘重量 3tf の場合

重錘重量 5tf

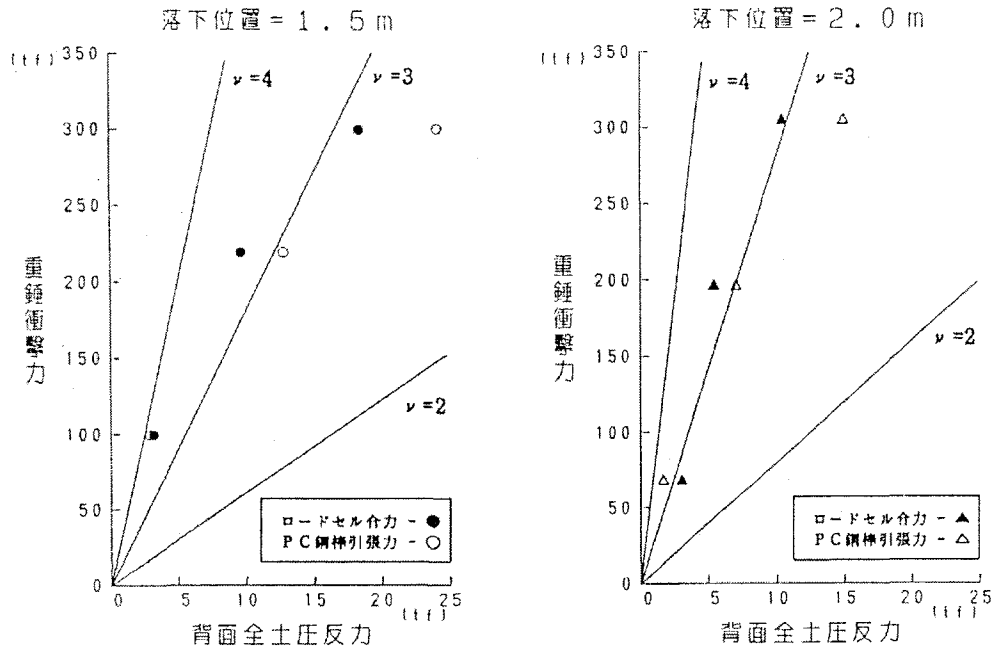


(b) 重錘重量 5tf の場合

図-4 背面衝撃土圧の測定値

図-5は、擁壁から1.5 mおよび2.0 mの位置に重錘が落下したときの擁壁面に設置された7個の土圧計の合力とP.C.鋼棒で緊結されたロードセルによる背面全土圧を比較したものである。この図より、P.C.鋼棒の緊張力から求めた反力の方がやや大きくなる傾向にあるが、いずれも重錘衝撃力の1/10以下の土圧が作用することがわかる。なお、応力集中係数 ν をパラメータとし、式(3)に示すフローリッヒの地中応力算出式を用いて算定した背面全土圧の計算値についても図中に併記した。図-5(a), (b)から、 $\nu=3$ 程度の値を用いることで、実験値とほぼ同程度の背面全土圧を得ることができることがわかる。したがって、擁壁に作用

する背面全土圧は、応力集中係数 $\nu=3$ としたフローリッヒの理論値で表現可能であると思われる。図-6は、水平衝撃土圧が垂直に伝播するライン上の擁壁面における応力分布について、土圧計による計測値とフローリッヒの式による推定値と比較したものである。この図より、各深さにおける応力値には大きな相違があることが認められる。全体的に、深さが小さい領域では応力が単調に増加し、ある一定の深さ以降では収束する傾向にある点は似ているが、底面からの反射応力波の影響等はフローリッヒの式には考慮されていないことから、今後、FEM等の数値解析による検討も並行して行う必要があることが推察された。



(a) 衝突位置からの距離 1.5 m の場合

(b) 衝突位置からの距離 2.0 m の場合

図-5 擁壁背面全土圧

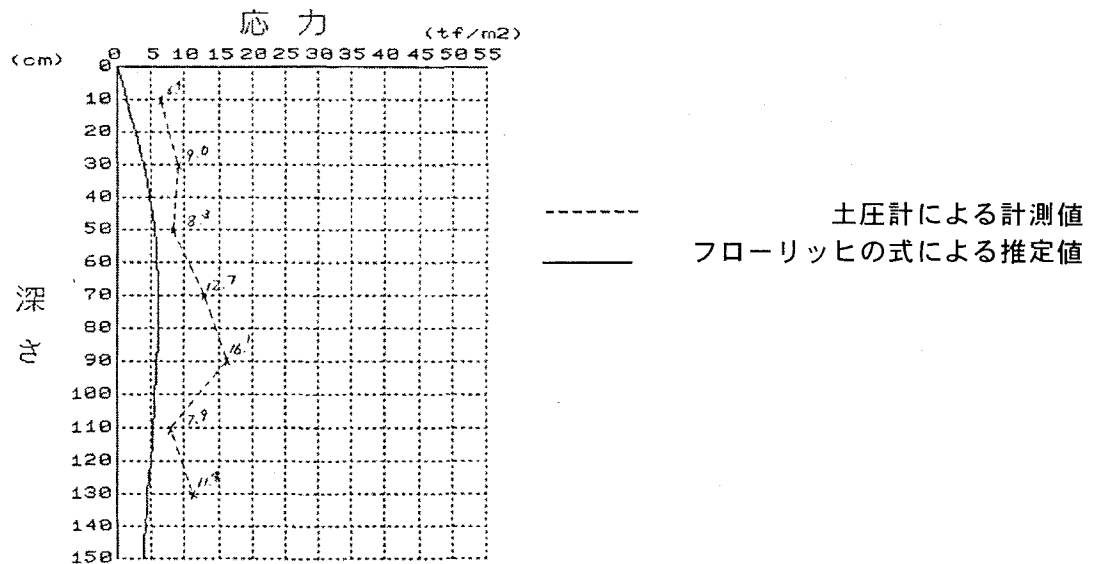


図-6 擁壁に作用する土圧分布の比較

5. 結論

本研究では、重錘落下実験結果をもとにロックシェットの敷砂層擁壁に作用する水平衝撃土圧の推定方法について考察を行った。ここで得られた成果を要約すると、以下ようになる。

(1) 擁壁に作用する土圧は一般にかなり小さく、全土圧でみると、重錘衝撃力の 1/10 以下であることが認められた。

(2) フローリッヒの地中応力算定式を用いて擁壁に作用する衝撃土圧の推定が可能であることがわかった。衝撃実験で得られた全土圧を推定するには、応力集中係数として 3 程度の値を用いれば良いと考えられる。

なお、実験で得られた土圧分布は必ずしも滑らか曲線で表されるものではない。この原因については、計測誤差や敷砂底面からの反射波の影響等の複数の要因が考えられるため、数値解析等の考察を含め、検討を行う必要があると考えられる。

参考文献

- 1) 建築基礎構造計算基準・同解説：日本建築学会
- 2) 山口柏樹：土質工学，技報堂出版，1976.8