

I-482 落石覆工におけるサンドクッションの衝撃緩衝効果に関する基礎的考察

防衛大学校 正員 ○園田佳巨 正員 佐藤弘志 正員 石川信隆

1. 緒言 現在、落石覆工の設計法に関する見直しが行われており、その中の検討項目の一つとして落石荷重の評価（すなわち、サンドクッションの衝撃緩衝効果）が挙げられている。ところで、過去に行われた検討はいずれも主に落石の条件（落下高さ、重量）が変わった時の発生衝撃力の算定方法に関するものであり、サンドクッションの砂の状態が衝撃力におよぼす影響についてはあまり検討がなされていない。そこで本研究は、室内の衝突載荷実験により砂の締固め度（砂の粒度分布、含水比、転圧状態など）が、サンドクッションを介したH形鋼梁への伝達衝撃力にどのような影響を与えるかについて調べたものである。

2. 砂の締固め度の定義 サンドクッションにより衝撃緩衝効果が得られる原因として、①砂粒子の間隙への移動による効果 ②砂粒子自体の変形による効果等 が考えられるが、当然①の方が影響が大きく、砂粒子の移動の容易さによって緩衝効果をほぼ評価するものと考えられる。一方、良く締固まった間隙が少ない砂ほど、砂粒子の移動は困難になり、落石の衝突に対して衝撃力は大きくなるものと推察される。よって、サンドクッションの状態を、砂の締固め度で評価し、静的載荷実験による荷重～貫入量関係の割線勾配つまり換算バネ係数により砂の締固め度を定義した。ここで、砂の締固め度に影響を与える要因として、砂の粒度分布、含水比、転圧状態の3つのパラメータを考慮した。

3. 実験の概要 本実験では、砂の粒度分布（図-1のような粒度加積曲線を示したA砂：豊浦標準砂、B砂：君津の砂の2種類を用いた）、含水比W（豪雨による最悪ケースも想定し、 $W=0.17\sim 26.8\%$ と広範囲に変化させた）、転圧力P。（平板を介してアムスラー試験機により均等な圧力を加えた）を変えた試料を用い、タテ37cm×ヨコ27cm×高さ15cmの砂槽に厚さ10cmに均等に敷き均してサンドクッションとみなした。実験ケースは表-1のとおりである。

(1)静的載荷試験 砂の締固め度を表わす換算バネ係数を把握するために、図-2に示すような静的載荷試験を行った。荷重の載荷は、衝突実験で使用する鋼球（重量4kgf）を用い、鋼球の貫入量と載荷した荷重を計測したうえで、荷重～貫入量曲線の割線勾配を換算バネ係数として求めた。ただし、ここでの砂の換算バネ係数は、図-3のように鋼球の貫入量が4cmになったときの荷重～貫入量曲線の割線勾配として定義し、表-1のような値を得た。

(2)落錘式衝突実験 各サンドクッションの伝達衝撃力を調べるために、図-4に示すように落石覆工を想定したH形鋼梁（H-100×50×7、支間長120cm）に、ロードセルを介して砂槽を載せたうえで鋼球を自由落下（8m/sで衝突するように3.26mの高さから落下）させた。計測項目としては、サンドクッションを通して伝

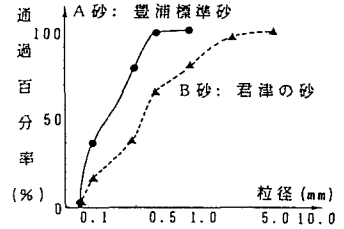


図-1 実験に用いた砂の粒度加積曲線

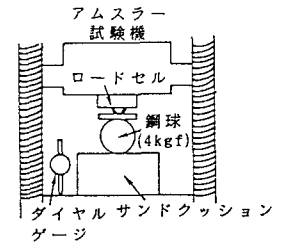


図-2 静的載荷試験の概要

表-1 実験ケースと砂の換算バネ係数

砂の種類	実験NO	含水比W (%)	転圧力P ₀ (kgf/cm ²)	換算バネ係数 (kgf/cm)
A砂	1	0.17	0.0	21.5
	2	0.17	0.4	31.6
	3	6.98	0.0	24.2
	4	6.98	0.4	39.1
	5	20.50	0.0	20.6
	6	20.50	0.4	29.1
B砂	7	8.16	0.0	15.8
	8	8.16	0.4	29.9
	9	16.20	0.0	40.3
	10	16.20	0.4	92.2
	11	26.80	0.0	39.9
	12	26.80	0.4	52.8

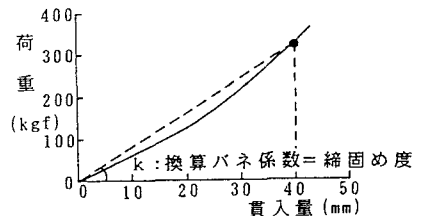


図-3 砂の締固め度の定義

達された衝撃力をロードセルで、H形鋼梁の支間中央位置の変位および歪みを渦電流型非接触式変位計と歪みゲージにより計測した。

4. 実験結果および考察

(1) 砂の粒度分布が伝達衝撃力に与える影響 図-5(a)、(b)は、2種類の砂をサンドクッションとして使用したときの伝達衝撃力-時間曲線を比較したものである。まず図-5(a)は、A砂の転圧をしない ($P_0=0\text{kgf/cm}^2$) とときと一定圧力 ($P_0=0.4\text{kgf/cm}^2$)

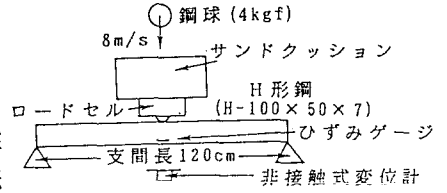
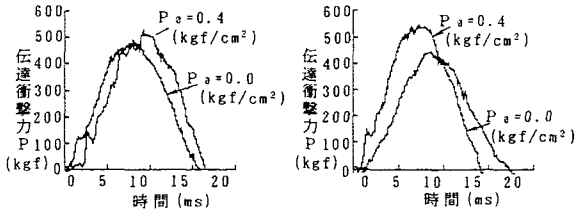


図-4 落錘式衝突実験の概要

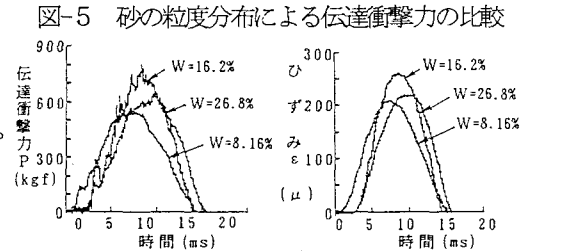
で転圧したときの比較を示したもので、この図より粒径が均等なA砂はあまり締固らないために衝撃緩衝効果の変動も小さく、伝達衝撃力の最大値の差は7%程度であった。次に図-5(b)は粒度分布の良いB砂の結果を示したもので、B砂は締固まりやすいため衝撃緩衝効果の変動も大きく、伝達衝撃力の最大値で約22%の変化が見られた。



(a) A砂使用時の衝撃力 (b) B砂使用時の衝撃力

(2) 砂の含水比が伝達衝撃力に与える影響

図-6(a)は、B砂について、転圧力 $P_0=0.4\text{kgf/cm}^2$ と一定として含水比を変えながら衝突実験を行った時の伝達衝撃力-時間曲線を示したものである。この図より含水比 $W=16.2\%$ のときに伝達衝撃力が最も大きく、衝撃緩衝効果が劣ることがわかる。本研究では最適含水比の確認は行っていないが、 $W=16.2\%$ が最適含水比に近い状態と思われる。よって、(a)伝達衝撃力-時間曲線



(a)伝達衝撃力-時間曲線 (b) H形鋼梁の歪み-時間曲線

砂の衝撃緩衝効果を検討するには、最適含水比に近い状態で良く締め固めることが伝達衝撃力を最大にするものと思われ、落石荷重評価における重要な要因となる。なお、図-6(b)は同一実験におけるH形鋼梁の歪み-時間曲線を示したもので、この図から、含水比 $W=16.2\%$ のときに、H形鋼梁の歪みが最も大きいことも確認された。

図-6 砂の含水比が衝撃緩衝効果に与える影響

(3) 砂の換算バネ係数と衝撃力緩衝効果 ここでは、(1)、(2)で考察した全実験ケースについて、砂の静的換算バネ係数を基準に検討を行った。すなわち、図-7は、換算バネ係数とH形鋼梁に伝達された最大衝撃力との関係を示したもので、この図より両者の間に正の相関関係があることが認められ、砂の換算バネ係数と最大衝撃力関係を予め求めておけば、サンドクッションの最大衝撃力を推定可能ではないかと思われる。

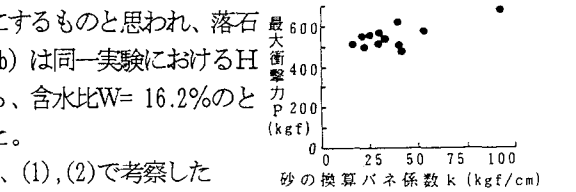


図-7 換算バネ係数と伝達衝撃力

(4) 3質点系モデルを用いた解析結果との比較 ここでは、砂の換算バネ係数を用いた解析を行い、実験結果との比較を試みた。すなわち、過去に著者らが示した3質点系モデル²⁾を用いて衝撃応答解析を行い、H形鋼梁への伝達衝撃力の計算値を実験結果と比較した。図-8は、B砂の含水比 $W=8.16\%$ のときの伝達衝撃力を比較したもので、計算値と実験値とはほぼ一致しており、静的な換算ばね係数を求めておけば、伝達衝撃力を解析的にある程度予測可能であることが認められた。

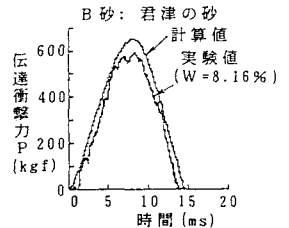


図-8 計算値と実験値の比較

参考文献

- 1) 吉田博、榎谷浩、佐藤真、井原朋美：落石実験データベースの作成と落石の衝撃力評価について、構造工学論文集Vol. 33A, pp. 571-583, 1987年3月
- 2) 園田佳巨、佐藤志志、石川信隆：落石覆工のエネルギー分担率に関する一考察、落石等による衝撃問題に関するシンポジウム講演論文集, pp119-122, 1991年3月