

(13) 衝撃荷重を受ける地下構造物に対する衝撃吸収材の効果

防衛庁第4研究所 ○藤本一男
 防衛庁第4研究所 大内 元
 防衛庁第4研究所 伊藤 孝
 防衛庁第4研究所 葛葉泰久
 防衛庁技術研究本部 佐山光紀

1 まえがき

ロックシェッド等の落石による衝撃を受ける構造物の上面には山砂等を用いてサンドクッション効果によって衝撃を吸収するように考慮されている。地表面に衝撃力が作用した場合、構造物に作用する外力は土の中を伝播してくる応力波による荷重である。一般に、土の中でも飽和した粘土は応力波の減衰が少ないが、乾燥した砂は応力波の減衰が大きくなることは知られている。しかしながら、土の中を応力波が伝播する過程において、より多くの応力波の吸収がある材料を地中に埋設することによって作用荷重を小さくすることができるはずである。本研究は、衝撃力を地表面に作用させた場合、応力波の伝播中に減衰効果のある材料について検討するため、各種の材料を用いてその減衰効果を実験的に求めたものである。

2 実験方法

図1は真空加速式高速度破壊装置を示している。この装置は発射管の中を重錘が落下し、衝撃力を与える方式の載荷装置であるが、自由落下によって衝撃力を与えることは勿論、さらに発射管の先端に薄い膜を取りつけ、重錘（周囲はオーリングによって密閉されている）と膜の間の発射管内を真空にすることによって大気圧で加速することができ、自由落下時の5倍程度迄（約100m/s）の速度を得ることができる。

図2は埋設した梁および衝撃吸収材の配置図である。梁は鋼製のボックス断面で幅は100mm 高さ28mmでありスパン500mmの単純支持にしている。周囲の土は気乾状態の豊浦標準砂を一定条件で突き固めた。地表面には厚さ35mm、幅300mm×300mmの鋼製板を設置し、その上に500トンの容量のロードセルを設置し、厚さ10mmのゴム板を介して重錘を衝突させた。今回の試験では梁が降伏点に達する直前まで変形するように重錘の質量および衝突速度を設定し重錘の質量は124kg、落下高さは10mで衝突速度は13.5m/sである。

測定項目は梁の表面各点に作用する土圧、梁の各点のひずみ、梁の加速度、梁中央の変位、ロードセルに作用する荷重である。

3 実験結果と考察

図3はロードセルによって得られた地表面での作用荷重の時

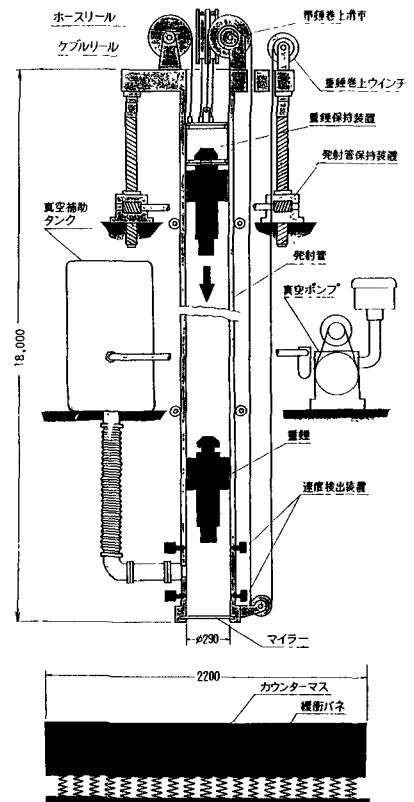


図1 真空加速式高速度破壊試験機

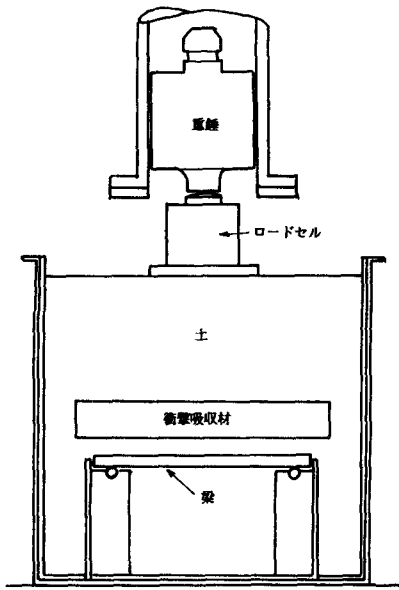


図2 衝撃吸収材および梁の配置図

間的变化を示している。ロードセルの表面にはゴム板が設置されているので衝突時の急激な荷重の上昇は見られないが直接重錘を衝突させた場合にはこの値の数倍の荷重が極めて短時間作用し、高周波成分を含んだ振動をする。図から明らかなように瞬間的には100トンの荷重が作用し、その後振動しつつ減衰するが、その際に負の荷重が現れる。これは、ロードセル自体の振動のためと思われ、衝突時の正確な荷重の測定は非常に困難である。

衝撃吸収材料としては、ハニカム材料のようにある一定以上の荷重になると潰れながらエネルギーを吸収するもの、発泡ウレタン等の柔らかい材料で外力によって変形し、エネルギーを吸収あるいは保存し、ゆっくりと放出するもの、あるいはゲル等のように非常に軟質の材料により反発弾性率を小さくしてエネルギーを遮断する材料等が考えられる。

図4は衝撃吸収材料の静的特性の一例を示したものである。ペーパーハニカムは圧縮強度の異なるものを使用した基本的には一定の荷重で変形しており、発泡ポリエチレンは当

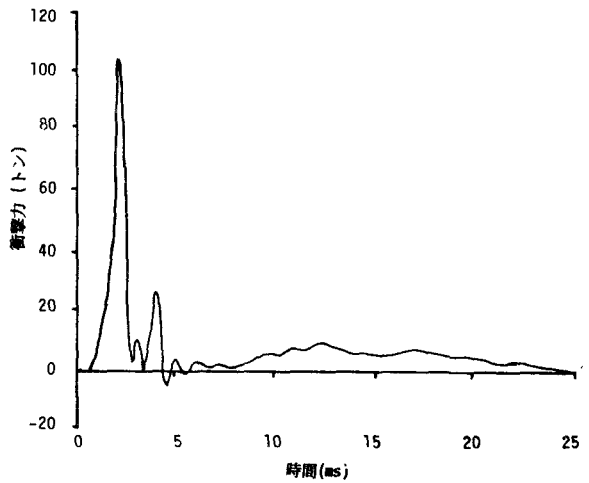


図3 地表面での衝撃力の時間履歴

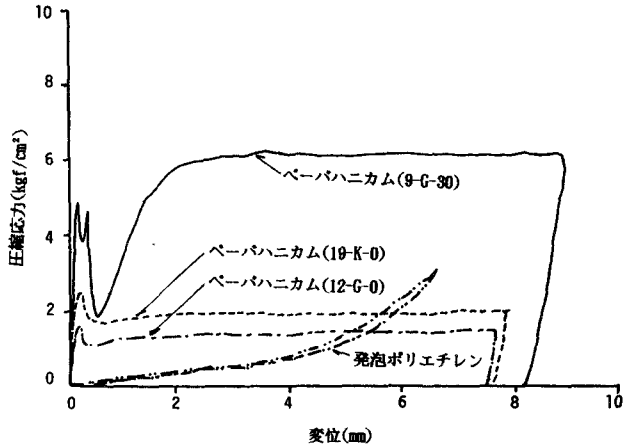


図4 衝撃吸収材の静的特性

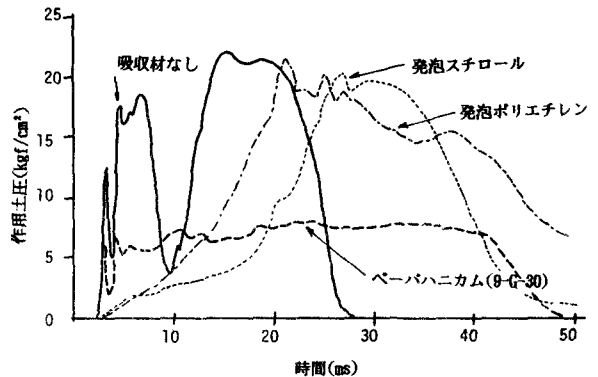


図5 各種衝撃吸収材による梁中央の作用土圧・時間関係の相違

初剛性が小さく、変形が進むにつれて剛性が大きくなるいわゆるロッキング材料のような特性を示す。なお、今回使用した衝撃吸収材料は厚さ100mmを基準にして埋設した。

図5は各種の衝撃吸収材料を用いた場合の梁の中央における作用土圧の時間的変化を吸収材料の無い場合も含めて比較したものである。図から明らかなように、衝撃吸収材料の無い場合に比較して、衝撃吸収材料を設置することによる特徴は、いずれの場合も作用時間が著しく長くなること、および作用土圧が一旦上昇した低下するような振動現象がなくなることである。発泡ポリエチレンや発泡スチロールのような材料の場合は衝撃吸収材の無い場合の作用土圧の急激な立ち上がりがなくなり、ゆっくりと上昇し、またゆっくりと下降するようになる。これは、変形当初は非常に剛性が小さいが変形するにしたがって剛性が大きくなるためであると考えられる。一方、ペーパーハニカムの場合、当初急激な作用土圧の上昇があるが、土圧の値は小さく一定荷重で長い時間経過し、その後作用土圧が減少することが分かる。これは、ペーパーハニカムの静的特性によるもので、ある荷重以上になると、ハニカム材のコアは潰れ始め一定荷重のまま変形し、エネルギーを吸収するためである。もし、変形能力が少ない場合にはハニカム材は完全に潰れ、作用土圧は再び上昇する。今回の実験においては衝撃吸収材として土質硬化材によって固めた同一厚さの材料を設置して実験を試みたが、この際は、衝撃吸収材の無い場合より、2倍程度も大きな作用土圧が観察された。

図6は梁中央の変位の時間履歴を示したものである。変位は渦電流式の変位計を用いて測定した。図から明らか

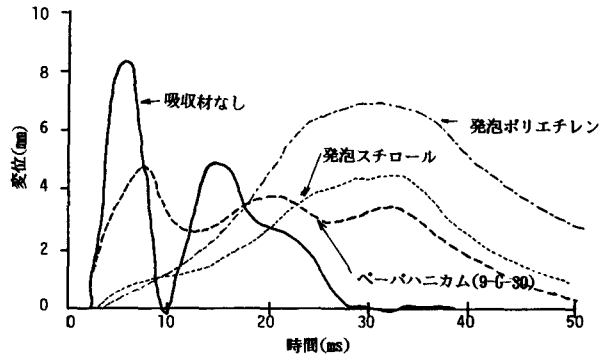


図6 各種衝撃吸収材による梁中央の変位・時間関係の相違

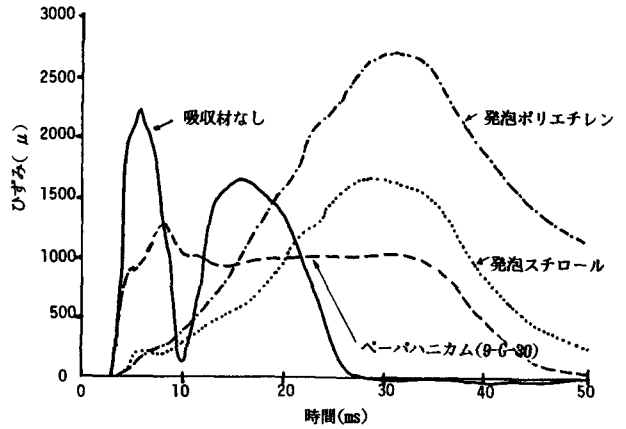


図7 各種衝撃吸収材による梁中央のひずみ・時間関係の相違

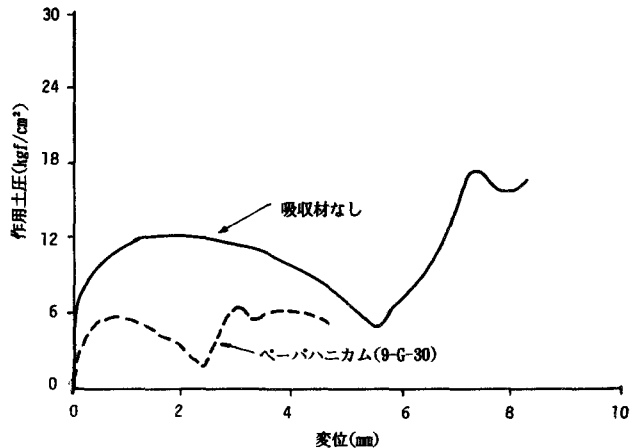


図8 最大変位までの梁中央での作用土圧・変位関係

なように、作用土圧と良く似た時間的変化を示している。いずれも最大変位は衝撃吸収材の無い場合より、小さくなっており、特にペーパハニカムは衝撃吸収材の無い場合のほぼ半分程度である。

図7は梁中央の裏側に貼付したひずみゲージによって得られたひずみの時間経過を示したものである。この図も変位と同様に吸収材を用いることによってひずみが小さくなることを示している。特にペーパハニカムを設置することによって吸収材の無い場合のひずみの半分程度に減少することが判明した。このことは、部材の応力がほぼ半分程度になることを示しており、ボックス断面のような梁部材を用いる場合には、断面2次モーメントがほぼ断面積に比例するので衝撃吸収材を用いることによって重量を半減できることを示唆していると考えられる。

図8は梁中央の変位と作用土圧との関係を変位が最大になるまでを示したもので、荷重・変位関係に相当するものと考えて差し支えないと思われる。したがって、これらの関係の荷重と変位とで囲まれた面積が梁が吸収したエネルギーに相当するが、図から明らかなようにそのエネルギーは衝撃吸収材によって約4/5を吸収していることになる。

表-1 各種衝撃吸収材の効果の比較

衝撃吸収材の種類	吸収材なし	ペーパハニカム 9-G-30	ペーパハニカム 12-G	ペーパハニカム 19-K	発泡スチロール	発泡エチレン	発泡ウレタン	A1 ゲル
中央点の最大作用土圧	22.0 kgf/cm ²	8.3	18.0	28.5	20.0	21.9	29.3	20.2
中央点の最大ひずみ	2255 マイクロ	1275	1860	1547	1677	2860	2165	1465

表1は今回使用した各種の衝撃吸収材を同一条件で試験した場合の比較を示したものである。表の最大ひずみの大きさを比較するとペーパハニカム9-Gと同じく19-Kあるいは発泡スチロール、A1ゲル材等が有効であると考えられる。しかしながら、ゲル材は非常に重量が大きく、価格も高価であり、実際の使用には疑問がある。また、衝撃吸収材を用いる場合には作用荷重の特性によって材料の力学的性質や厚さを考慮して選定する必要があると考えられる。

4. あとがき

衝撃荷重を受ける地下構造物やロックシェッドの安全性を考える場合、作用外力がどの程度かという問題や土と構造物との動的相互作用の問題等複雑な課題があり、これらについてはまだ研究の緒にたばかりであるといっても過言ではないと考えられる。一般に、このような外力は作用時間は短い、その大きさは極めて大きいという特徴がある。したがって、構造全体は非常に強固にすることが必要となり、費用も大きくなる。ここでは、これらの外力を極力小さくして、構造を軽量化するための手段として、衝撃吸収材を用いる事を考えて、実験的にその可能性を検討した。実験から適当な衝撃吸収材を用いることによって外力を軽減できる可能性があることが判明した。