

緩衝材原位置締固め工法における加速度減衰特性の検討

原子力環境整備促進・資金管理センター 正会員 ○増田良一*、朝野英一、多田 浩幸
ハザマ 正会員 茂呂吉司、西村毅、雨宮清

1. はじめに

原位置締固め工法による緩衝材施工では重錘落下式の動的な締固めが検討されており、重錘落下時の衝撃による周辺岩盤および廃棄体の損傷が懸念される。そのため、重錘の緩衝材衝突時のエネルギー伝搬特性を明らかにし、周辺岩盤および廃棄体への影響評価を行うことが必要とされる。本研究では、原位置締固め緩衝材の施工模擬試験を精度よく解析で評価するために、ベントナイト材料を用いて加速度の減衰を実験的に求め、その減衰特性を反映した衝撃解析の岩盤、廃棄体影響評価への適用性の検討を行った。

2. 加速度減衰取得試験

(1) 試験方法

加速度減衰特性の取得試験は、鋼製容器内にセットしたベントナイトブロックに対し、重錘を落下させて、その衝撃の加速度と圧力を測定した。図-1に試験の概要図を示す。鋼製容器は内径30cm、深さ40cmであり、底盤面中央部に加速度計および圧力計を設置した。ベントナイト材料はクニゲルV1であり、含水比およびケイ砂混合率を変化させて、表-1に示す3ケースで実験した。ベントナイトブロックは静的プレスにより厚さ10cm、直径30cmの円盤状に加工し、上面中央部に加速度計を埋設した。3つのブロックを積み上げ、鋼製の容器に入れた後、一定の重さの錘（99.7kg）を50cmの高さから落下させ、落下時の衝撃加速度を測定した。当初の設定乾燥密度は $1.5\text{Mg}/\text{m}^3$ で、重錘の落下に伴ってブロックの厚さが薄くなり、乾燥密度が高まる。乾燥密度の変化が観測されなくなった時点で、落下高さを変化させて、1つの高さで3回、衝撃を測定した後、層厚を測定し、乾燥密度を確認した。

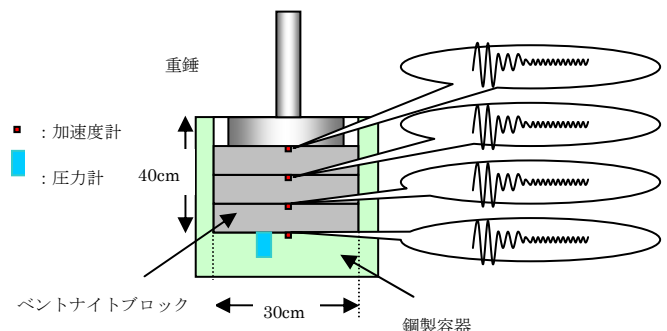


図-1 加速度減衰試験概要

表-1 試験ケース一覧

	Case1	Case2	Case3
ケイ砂混合率	30%	30%	50%
含水比	15%	18%	15%

(2) 試験結果

図-2に応答加速度の計測例を示す。上層、中層、下層、容器底面での応答加速度を示しており、上層⇒中層⇒下層⇒容器底面への加速度の伝達は時間的ずれを生じ、かつ、応答加速度の最大値も減衰していることがわかる。なお、材料条件を変化させた試験ケースごとの加速度値の材料依存性はなかった。また、応答圧力については最大でも1.1MPa程度であったが、同様に試験ケースごとの圧力値の材料依存性はなかった。

図-3に落下高さを変化させた場合の打撃エネルギーと応答加速度の最大値の関係をグラフにした。ただし、上層の応答加速度は計器の測定範囲である1,000Gを超える場合も観測されたので省き、中層、下層、容器底面での観測点のデータを示した。図中の直線は観測データを線形で近似したものである。これによると、応答加速度の打撃エネルギー依存性がわかる。ここで、下層と中層の応答加速度の最大値の比を打撃エネルギーとの関係にまとめた。すると、すべてのケースで比はほぼ、一定となり（約0.33）、打撃エネルギーに依存しないことがわかった。

キーワード 高レベル放射性廃棄物、原位置締固め、ベントナイト、加速度、衝撃解析、レーリー減衰

連絡先 〒105-0001 東京都港区虎ノ門2丁目8番10号 TEL. 03-3504-1506

3. 衝撃解析

(1) 解析方法

試験結果の減衰特性を反映した2次元FEMによる衝撃解析を行った。モデルは対称性により軸対称モデルを用い、重錘、ベントナイトおよび鋼製容器の接触部分には接触要素を使用した。今回、緩衝材の減衰特性は、動的解析において使われるレーリー減衰(Reyleigh Damping)により再現するものとした。これは、以下の式で表される質量に比例する項と剛性に比例する項からなる減衰を表現するものである。

$$[C] = \alpha[M] + \beta[K]$$

ここに、[C]:減衰マトリックス、[M]:質量マトリックス [K]:剛性マトリックス、 α 、 β :減衰パラメータである。既往の解析では一般に、 $\alpha=0$ 、 $\beta=0.0001\sim0.01$ 程度の値となっている。解析ケースは、 $\alpha=0$ とし、 $\beta=0.0001\sim0.01$ の間で5段階に変化させた。また、比較として、減衰を考慮しない解析も実施した。

(2) 解析結果

レーリー減衰を取り入れた解析による応答加速度時刻歴の一例を図-4に示す。上層から下層に向けて加速度の減衰がみられる。また、加速度および容器に作用する応力の最大値を比較したものを表-2に示す。減衰を考慮しないCase.0では、ベントナイトの各層で非常に大きな加速度値となり、試験値と比較しても10~100倍程度の加速度値となった。レーリー減衰を考慮したCase.1~5については加速度の減衰が見られ、 $\beta=0.005\sim0.01$ では、ベントナイト下層/中層の加速度比は0.39~0.41とほぼ一定であった。この減衰比は、実験値の0.33に比べるとやや大きいものの、今回の解析条件の範囲内では、最も実験結果に近い条件と考えられる。また、容器底盤での応力値は、 β が大きくなるに従い低下する傾向となった。実験値の応力値0.8~1.1MPaに対し、 $\beta=0.005$ が0.75MPaとなり最も近い解析結果となった。以上の結果より、 $\beta=0.005$ の場合が実験結果に最も近い減衰定数と考えられ、この減衰定数を用いることで緩衝材の減衰特性を考慮した岩盤、廃棄体衝撃影響評価が可能となる。

4. まとめ

締固め試験では、緩衝材中の加速度は、含水比およびケイ砂含水率への依存性は低く、打撃エネルギーに比例することを把握した。さらに、加速度減衰比(下層/中層)は打撃エネルギーに依存せず、約0.33で一定となった。衝撃解析では、レーリー減衰を導入することにより、加速度値、加速度減衰特性、応力を再現できることが明らかとなった。この解析手法により、岩盤、廃棄体に作用する圧力、加速度の適切な評価が可能であり、岩盤、廃棄体に影響を及ぼさない本工法の適用可能範囲を明らかにできるものと考えられる。

なお、本報告は経済産業省からの委託による「地層処分技術調査等」の成果の一部である。

参考文献

1) 出口、増田他「緩衝材原位置締固め工法に関する検討(その1)」、土木学会第54回年次学術講演会概要集、1999

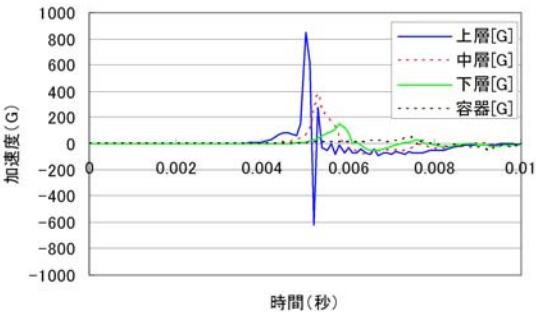


図-2 応答加速度(ケース1)

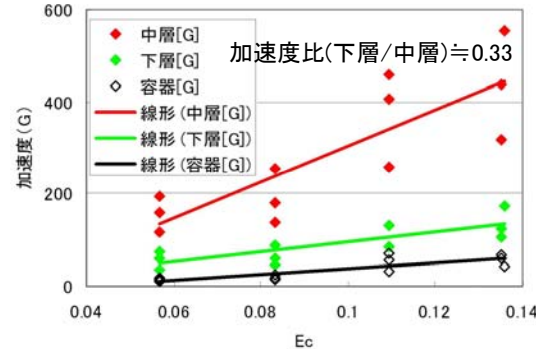


図-3 打撃エネルギー(Ec)と応答加速度の関係

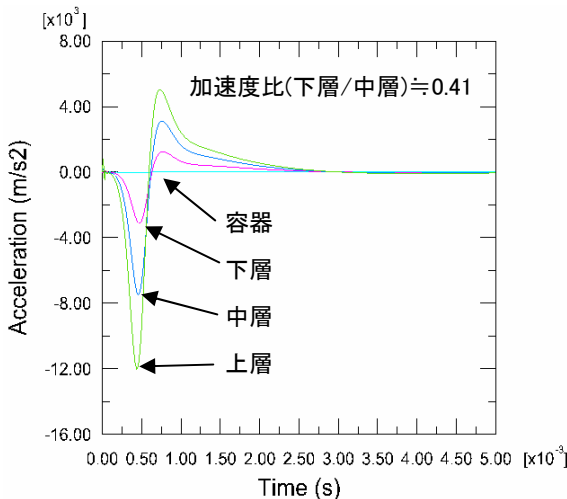


図-4 衝撃解析による応答加速度時刻歴
($\alpha=0$ 、 $\beta=0.005$)

表-2 レーリー減衰定数をパラメータとした解析、実験値比較

項目	位置	単位	解析ケース						実験値
			CASE0	CASE1	CASE2	CASE3	CASE4	CASE5	
レーリー減衰定数	α	s-1	0	0	0	0	0	0	—
	β	s	0	0.0001	0.0005	0.001	0.005	0.01	—
最大加速度	ベントナイト上層	G	7434	1527	1610	1560	1204	963	800~
	ベントナイト中層	G	5928	657	669	763	750	611	200~400
	ベントナイト下層	G	8175	572	260	294	311	251	50~150
	容器	G	235	12	2	3	3	1	0~50
	下層/中層	—	1.38	0.87	0.39	0.39	0.41	0.41	0.33
最大応力	容器底盤	MPa	4.58	3.01	2.40	2.00	0.75	0.41	0.8~1.1