

◆ 報文 ◆

地形改変を低減する軽量盛土工法の適用

恒岡伸幸* 中野穰治** 森 啓年*** 三木博史****

1. はじめに

従来のような切土を主体とした道路づくりから、盛土主体の道路づくりへと発想を転換することによって、切土による地形の改変を最小限にとどめ環境に配慮した山岳道路土工を実現することが可能である(図-1)。このような山岳道路土工には以下のようない点があると考えられる^{1),2)}。

(1) 自然環境の保全

地形の改変を低減することにより自然環境を保全することが可能である。

(2) のり面防災管理の簡素化

切土面の発生を低減することにより道路のり面防災管理の簡素化が可能である。

(3) 建設発生土のリサイクル

気泡混合土や発泡ビーズ混合軽量土は現場発生土の利用が可能であり建設発生土のリサイクルが可能である。

(4) 建設コストの低減

緑化などのり面処理に関わる工費を削減でき、道路建設の総コストを縮減することが可能である。

以上のような盛土主体工法を採用するに当たって、軽量盛土工法は急な斜面上に盛土を構築する安全度の問題を最小限にとどめ、従来工法では難しかった急峻な斜面上にも道路の新設および拡幅を行うことを可能にすることから、有利な工法であると考えられる。

現在、軽量盛土工法に用いられる軽量材として

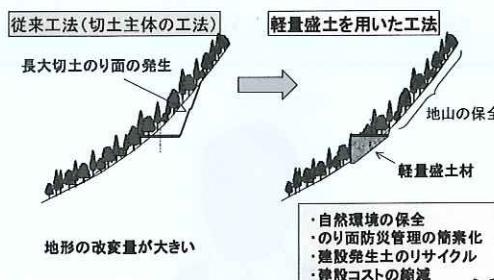


図-1 軽量盛土工法

Road Construction in Mountainous Area with Lightweight Embankment Method

は発泡スチロールブロックを用いたEPS工法のほか、現地発生土の有効利用が可能な気泡混合土や発泡ビーズ混合軽量土などが実用化されている^{3),4),5),6)}。

本報文では、独立行政法人土木研究所材料地盤研究グループ土質チームにおいて行っている軽量盛土工法に関する研究について紹介する。

土質チームでは、主に①盛土主体工法、その中でも軽量盛土工法の適用により生じる利点を定量的に把握するためのフィージビリティスタディ、②軽量盛土工法の安全性確保のため気泡混合土盛土の耐震性に関する検討の2点について研究を進めている。

2. 軽量盛土工法のフィージビリティスタディ

2.1 研究方法

盛土主体工法、その中でも軽量盛土工法の適用により生じる利点を定量的に把握することにより、現場における工法選定の助けになると考えられる。

ここでは(1)山岳道路建設に盛土主体工法を採用する利点、(2)盛土主体工法に軽量盛土工法を採用する利点、の二点から環境面、防災面、リサイクル面、経済面について定量的に把握することを目的に、以下の条件で断面試設計を行った。

(1) 地形条件

緩傾斜崩積土、急傾斜軟岩(図-2)の二種を設定した。

(2) 土質定数

土質定数としては表-1のように設定した。

(3) 土工種類

土工種類としては、①切土主体の従来工法とし

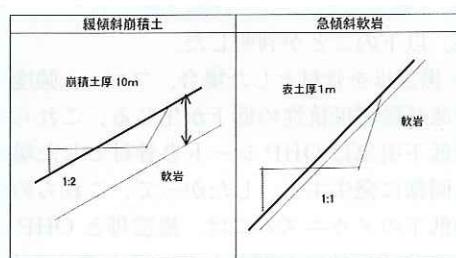


図-2 試設計ケース

表-1 土質定数一覧表

種別	特性	気泡混合土	E P S	購入土
盛土材	飽和重量 (tf/m ³)	0.6	0.01~0.03	1.9
	湿潤重量 (tf/m ³)	0.6	0.01~0.03	1.9
	内部摩擦角 (度)	0.0	-	25.0
	粘着力 (tf/m ²)	5.0	-	0.0
表土	飽和重量 (tf/m ³)	1.8		
	湿潤重量 (tf/m ³)	1.8		
	内部摩擦角 (度)	20.0		
	粘着力 (tf/m ²)	0.0		
崩積土	飽和重量 (tf/m ³)	1.8		
	湿潤重量 (tf/m ³)	1.8		
	内部摩擦角 (度)	25.0		
	粘着力 (tf/m ²)	0.0		
軟岩 (花岡岩)	飽和重量 (tf/m ³)	2.4		
	湿潤重量 (tf/m ³)	2.4		
	内部摩擦角 (度)	30.0		
	粘着力 (tf/m ²)	5.0		

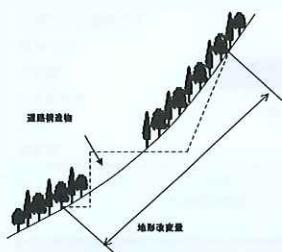


図-3 地形改変量

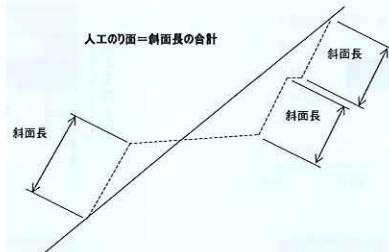


図-4 人工のり面

表-2 設計単価

地山条件	工種	(単位)	単価(千円)
緩傾斜崩積土	斜面掘削工	(m ³)	1.0
	発生土処理	(m ³)	3.0
	埋め戻し(購入材)	(m ³)	3.0
	舗装工	(m ²)	8.0
	盛土のり面処理工	(m ²)	8.2
	切土のり面処理工	(m ²)	8.2
急傾斜軟岩	斜面掘削工	(m ³)	1.0
	発生土処理	(m ³)	3.0
	埋め戻し(購入材)	(m ³)	3.0
	舗装工	(m ²)	8.0
	盛土のり面処理工	(m ²)	1.3
	切土のり面処理工	(m ²)	30.0

て安定勾配による切盛土、②盛土主体の従来工法として逆T擁壁・補強土、③盛土主体の軽量盛土工法としてEPS・気泡混合土、④その他の工法として桟道橋を設定した。

(4) 土工断面

山岳道路新設のケースについて、土工種類の②

と③は道路中心線を谷側に設定し、盛土幅が切土幅に対して3:1の割合になるような盛土主体工法を用いた。それに対して、①の安定勾配による切盛土は切土のみの切土主体工法を用いた。なお、土工の結果発生したのり面には緑化を行った。緩斜面崩積土のケースには厚層基材吹付け+低木、急斜面軟岩のケースには緑化ブロックを用いた。

(5) 比較項目

地形改变量(図-3)、人工のり面(図-4)、発生土量、施工コスト(表-2)について定量的に把握し、各工法の比較を行った。

2.2 結果

2.2.1 環境面

図-5に各工法の地形改変面積を示す。

(1) 緩傾斜崩積土のケース

盛土主体の工法を採用することにより、切土主体の安定勾配による切盛土に比べて地形改変面積は減少する場合もあれば、補強土を用いる場合のように逆に地形改変面積が大きくなる場合がある。地形改変面積は工法に大きく依存することが明らかになった。

また、軽量盛土工法を用いることによって、地山への安定を低下させにくいため、補強土のように大がかりな土工にはならず、一般的に地形改変面積はわずかではあるが低減することが明らかになった。

(2) 急傾斜軟岩のケース

盛土主体工法を採用することによって、切土主体の安定勾配による切盛土に比べて地形改変面積は約50%以上減少することが明らかになった。

また、軽量盛土工法を用いることによって、地山への安定を低下させにくいため、地形改変面積は60%以上とさらに低減した。

(3) まとめ

これらの結果から、急傾斜軟岩の場合、盛土主体の工法、特に軽量盛土工法を採用することにより地形改変面積を効果的に低減でき、自然環境を保全することが可能であることが明らかになった。

2.2.2 防災面

図-6に各工法の人工のり面面積を示す。

(1) 緩傾斜崩積土のケース

盛土主体の工法を採用することにより、切土主体の安定勾配による切盛土に比べて人工のり面

面積は減少する場合もあれば、補強土を用いる場合のように逆に大きくなる場合がある。人工のり面面積は工法に大きく依存することが明らかになった。

また、軽量盛土工法を用いることによって、切土主体の安定勾配による切盛土に比べて人工のり面面積は最大70%程度減少することが明らかになった。

(2) 急傾斜軟岩のケース

盛土主体工法を用いることによって、切土主体の安定勾配による切盛土に比べて人工のり面面積は最大70%以上減少した。軽量盛土工法を用いた場合でもその傾向は同じであった。

(3)まとめ

これらの結果から、盛土主体の工法を採用することにより人工のり面面積を低減でき、のり面防災対策の簡素化が可能である。

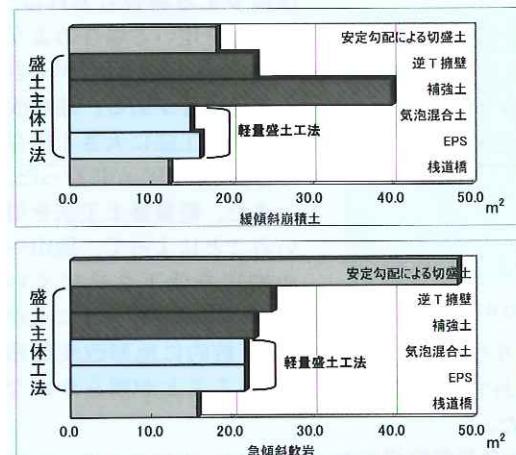


図-5 地形変更面積 (1m 当り)

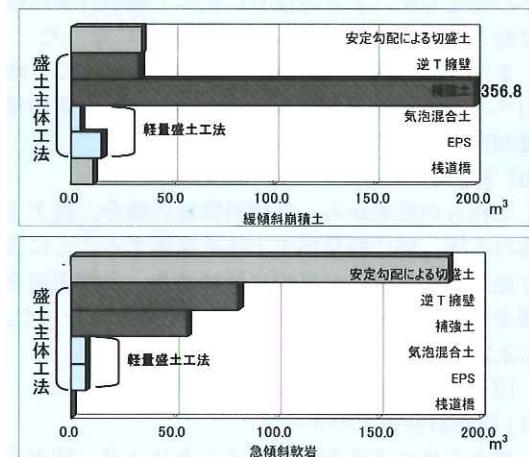


図-6 人工のり面面積 (1m 当り)

2.2.3 リサイクル面

図-7に各工法の発生土量を示す。なお、気泡混合土は表層から50cmの範囲にある土を現地発生土として利用できると仮定して計算を行った。

(1) 緩傾斜崩積土のケース

盛土主体の工法を採用することにより、切土主体の安定勾配による切盛土に比べて発生土量は減少する。しかし、補強土を用いる場合のように逆に発生土量が大きくなる場合がある。

また、軽量盛土工法を用いることによって、地形変更面積が小さくなるため、発生土量が少なくなった。特に気泡混合土では発生土の再利用が可能であるため、発生土量は90%以上減少した。

(2) 急傾斜軟岩のケース

盛土主体工法を採用することによって、切土主体の安定勾配による切盛土に比べて発生土量は約50%以上減少することが明らかになった。

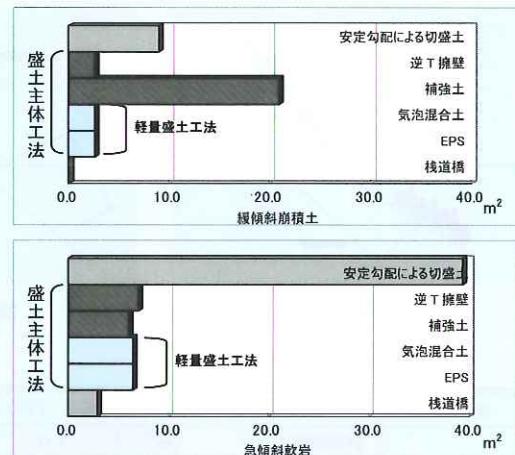


図-7 発生土量 (1m 当り)

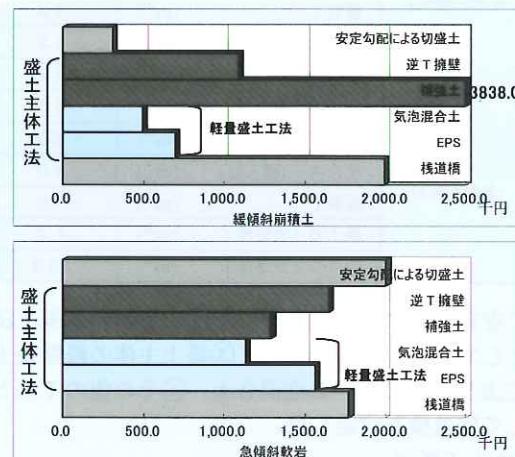


図-8 施工コスト (1m 当り)

また、軽量盛土工法を用いることによって、地形改变面積が小さくなるため、発生土量はさらに減少する。特に気泡混合土では発生土の再利用が可能であるため、発生土量は最大 95%以上減少した。

(3) まとめ

これらの結果から、盛土主体工法、特に気泡混合土など現場発生土の再利用が可能な軽量盛土工法は従来工法と比較して発生土量を大きく低減できることが明らかになった。

2.2.4 経済性

図-8 に施工コストの比較結果を示す。

(1) 緩傾斜崩積土のケース

安定勾配による切盛土工法に比べ、他の工法はどれも施工コストが高くなつた。

盛土主体工法の中で比較すると、軽量盛土工法は、従来工法に比べ施工コストが半分以下になつてゐる。これは、軽量盛土工法は基礎地盤上の安定対策工が不要であり、発生土の処理量が少ない、本体工(埋め戻し材を含む)に係わる工事費が安価であることが理由であると考えられる。

(2) 急傾斜軟岩のケース

盛土主体工法を採用することで、切土主体の安定勾配による切盛土に比べて施工コストは 20%以上減少した。

また、軽量盛土工法を用いた工法では、現場発生土の処理量が少なく、また切土法面の緑化面積が少なくなるため、施工コストは 40%以上減少した。

(3) まとめ

これらの結果から、急傾斜軟岩の場合では、盛土主体の工法、特に軽量盛土工法を採用することにより切土主体の工法と比較して施工コストを低減することが可能であることが明らかになった。

2.3 まとめ

検討結果から、山岳道路を建設する場合には、軽量盛土工法を採用して道路計画を行うことにより、今までの計画と比べて自然環境に与える影響面を効果的に改善することが出来、環境・防災・リサイクル面に配慮した道路建設が可能となる。また、急斜面の場合では同時にコスト縮減を図ることも可能である。実際の現場においても従来工

表-4 実験ケース

実験ケース	設計強度	対策工	入力波形
1-1 正	150kN/m ²	なし	正弦波
1-2 正	"	抵抗杭	"
2-1 正	250kN/m ²	なし	"
2-2 正	"	抵抗杭	"
3-1 正	500kN/m ²	なし	"
3-2 正	"	抵抗杭	"
1-1 地	150kN/m ²	なし	地震波
1-2 地	"	抵抗杭	"
2-1 地	250kN/m ²	なし	"
2-2 地	"	抵抗杭	"

法に比べ三割以上のコスト縮減が可能との報告もある⁷⁾。

なお、栈道橋工法は、施工コストを除き、環境・防災・発生土量のいずれでも優秀な結果を収めた。

3. 軽量盛土の耐震性について^{8),9)}

3.1 実験方法

前章では軽量盛土工法を山岳道路に適用することは環境・防災・リサイクル・経済の面から利点があることを述べたが、気泡混合土などの軽量盛土材は新材料であるため、それを用いた構造物の耐震性についてはいまだ確認されていないのが現状である。

ここでは気泡混合土が 8m を越える高盛土となつた場合必要となる耐震性の検討に対応するため実験を行い、動的遠心力模型実験における気泡混合土盛土の地震時挙動を①応答加速度、②残留変形の面から観察し、気泡混合土盛土の耐震性について考察する。

実験は動的遠心力載荷装置を用い通常の重力の n 倍の重力をかけることで、1/n の模型の自重応力を実物と一致させて行った。

具体的な方法は以下の通りである。急斜面を模した鉄製のフレームに気泡混合土(表-3)を打設し 28 日間養生することにより高さ 12.5m の急傾斜面上盛土の 1/50 模型(図-9)を作成した。路盤及び舗装部を再現するため上載荷重として 50G 場換算 14kPa 相当になる砂鉄入り袋を盛土体上部に設置し、対策工(抵抗杭)としては 1G 場換

表-3 配合及び強度特性

設計強度	配合(1m ³ 当たり)				一軸強度 (28 日)(kN/m ²)	湿潤密度 (g/cm ³)	備考
	試料土量 (kg)	水 (kg)	固化材量 (kg)	気泡量 (l)			
150kN/m ²	96	382	100	550	156	0.577	原料土：関東ローム 固化材：一般軟弱土用固化材
250kN/m ²	87	350	140	573	290	0.578	
500kN/m ²	75	301	200	606	474	0.595	

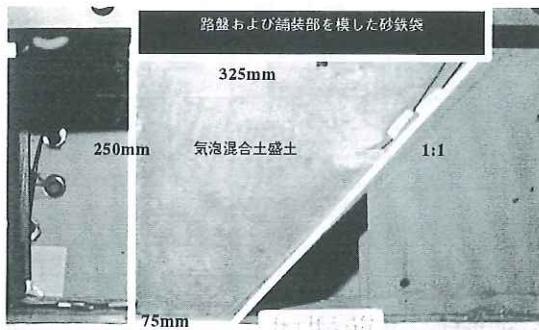


図-9 実験模型概要

算 $\phi 50\text{mm}$ 、長さ 1m、1 本/ 4m^2 になるように釘を斜面上に設置した。

実験は 50G で遠心載荷の後、段階的に加振し、加速度変換器、レーザ式変位計を用いて盛土体の応答加速度・変位について計測を行った。加震入力波形としては 1G 場に換算すると卓越周波数が 1.5Hz となる正弦波 75Hz 20 波、地震波（神戸波 N-S 成分、卓越周波数 75Hz に調整）の二種類を用い、加震強度として正弦波は 100、200、300、400、600gal に、地震波は 200、400、500、600、800gal に基準化した波の順に水平方向のみに加震を行った。実験ケースは気泡混合土の設計強度、対策工、入力波が異なる 10 ケース（表-4）行った。

3.2 実験結果及び考察

加震後の供試体の例を図-10 に示す。供試体の底面から斜め上方向にクラックが入るとともに、斜面と底面の接続部に応力が集中し、破壊が生じた。

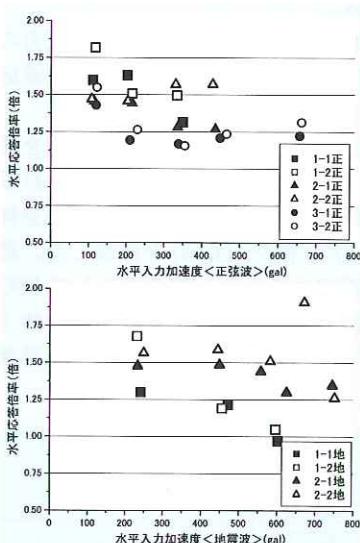


図-11 水平応答加速度
(大きな変形が見られた場合は除く)

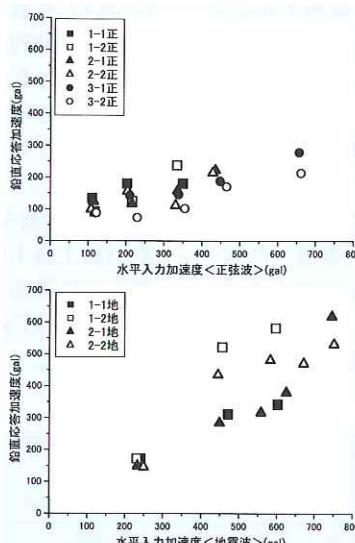


図-12 鉛直応答加速度
(大きな変形が見られた場合は除く)

図-10 加振後の供試体 (150kN/m^2 , 地震波 600gal)

3.2.1 応答加速度

最も大きな応答加速度が観測された盛土肩部の応答加速度を水平・垂直の両方向から検討した。盛土肩部とは盛土上側水平辺と盛土谷側垂直辺の交わる点を指す。まず、水平方向の最大加速度（図-11）に着目すると、入力加速度の 2.0 倍に収まることが観測され、入力加速度が大きくなると応答倍率は小さくなる傾向が見られた。これは、今回用いた気泡混合土は軸ひずみが大きくなるにつれて減衰定数が増加していることと、入力加速度が大きくなるにつれて盛土と地山との摩擦により失われる振動エネルギーが大きくなるためと考えられる。次に盛土肩部の鉛直方向の加速度（図-12）に注目すると、水平入力加速度が大きくなるにつれて、鉛直応答加速度が大きくなる傾向が観測された。特に地震波では水平方向の入力加速度と

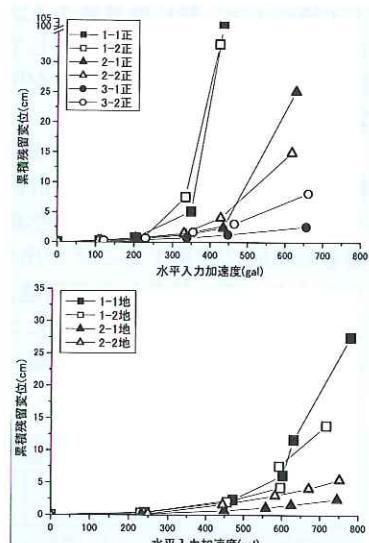


図-13 積累残留変位

ほぼ同じ鉛直応答加速度が観測された。これは路盤及び舗装部を含む盛土体がトップヘビーな構造かつ逆三角形の盛土形状のため、加震中に盛土体と地山が分離することに起因するためと考える。

3.2.2 残留変位

盛土肩部の水平方向の累積残留変位は実験の結果、図-13のようになった。

まず強度の影響であるが、強度を上げると内部破壊が防止されるため同じ入力加速度であっても残留変位は小さくなることが観測された。次に抵抗杭を設置することにより 10cm 以上の大きな累積残留変位が観測されるとき累積残留変形を最大 1/3 程度減少させる効果があることが観測された。

今回実験に使用した気泡混合土に一軸圧縮試験を行った結果ひずみ率 $\varepsilon = 0.3\%$ 程度で一軸強さのピークを示し、その後ピーク強度の 100~90% で推移する。そこで盛土体の内部で破壊が進行し始める累積残留変位を 5cm (盛土高さの 0.375%) と仮定すると、強度 250 kN/m^2 の気泡混合土盛土に正弦波を入力したケースでは加速度 450gal、地震波を入力したケースでは加速度 600gal まで内部破壊は生じていないことから、気泡混合土盛土は十分な耐震性を持つと考えられる。なお地震波に対する累積残留変位が正弦波のものと同じ入力加速度においても小さくなる傾向を示す理由としては地震波の不規則性が影響していることが考えられる。

3.3まとめ

動的遠心模型実験により気泡混合土盛土の耐震性を強度・対策工の効果の面から検討し、以下のような結果を得た。

- (1) トップヘビーな荷重分布と逆三角形の盛土形状のため水平方向の応答だけでなく、鉛直方向の応答が生じる。そこで盛土の内部破壊を防止するため、水平方向だけでなく鉛直方向の応答も加味して強度設定を行う必要がある。

- (2) 抵抗杭の設置により、変形の残留変位が小さくなるため、地震時の大変形を抑制するために抵抗杭の設置が有効である。

以上から、適切な強度と対策工を設定することにより、道路土工指針における大規模地震動対応の耐震性を気泡混合土盛土に持たせることが可能である。

4. 結論

フィージビリティスタディおよび耐震性の検討結果から、軽量盛土工法、特に気泡混合土盛土工法は山岳道路建設の際に様々なメリットとともに充分な耐震性を持つことが明らかになった。今後、現場においてさらなる採用をお願いしたい。

参考文献

- 1) 中野穰治、小橋秀俊、三木博史：環境にやさしい山岳道路づくりについて～地形変更を低減させる軽量盛土工法～、月間建設、pp.12-14, 1999.6
- 2) 三木博史：法面保護と緑化技術の最新動向、日経コンストラクション、pp.97-100, 1999.7.23
- 3) 建設省大臣官房技術調査室：発生土利用促進のための改良工法マニュアル、土木研究センター、1997.12
- 4) 土木研究所資料第 3089 号、発泡スチロールを用いた軽量盛土の設計・施工マニュアル、1992.3
- 5) 土木研究所共同研究報告書第 170 号、混合補強土の技術開発に関する共同研究報告書－気泡混合土利用技術マニュアル、1997.3
- 6) 土木研究所共同研究報告書第 171 号、混合補強土の技術開発に関する共同研究報告書－発泡ビーズ混合軽量土利用技術マニュアル、1997.3
- 7) 西村明、三輪雅夫、千田祐司：気泡混合土を用いた組立自立外壁パネル工法の開発、ダム技術、pp.47-50, 2000.4
- 8) 中野穰治、三木博史、小橋秀俊：急斜面上の軽量盛土の耐震性に関する実験的考察、第 35 回地盤工学研究発表会、pp.2169-2170, 2000.6
- 9) 森啓年、中野穰治、恒岡伸幸：急斜面上の気泡混合土盛土の耐震性に関する実験、第 36 回地盤工学研究発表会、pp.2043-2044, 2001.6

恒岡伸幸*



独立行政法人土木研究所
材料地盤研究グループ
土質チーム上席研究員
Nobuyuki TSUNEOKA

中野穰治**



JICA 長期専門家
(前 土木研究所材料施
工部土質研究室主任研究
員)
Joji NAKANO

森 啓年***



独立行政法人土木研究所
材料地盤研究グループ
土質チーム研究員
Hirotoshi MORI

三木博史****



同 材料地盤研究グル
ープ長
Hiroshi MIKI