

# 災害レジリエンスの向上を目指した「縮災土のう」について

中森 康裕<sup>1</sup>

<sup>1</sup>西日本高速道路メンテナンス関西(株) 修繕工事部 (〒567-0032大阪府茨木市西駅前町5-1)

地震等の大災害が発生した場合、道路管理者としての最優先は「道路啓開」であり、この道路啓開がなければ救急業務、避難誘導、点検・復旧、物資輸送、各種支援等の社会的活動の復旧は成り立たないといっても過言ではない。過去の地震災害で発生した橋梁・ボックス等の段差、道路の亀裂・沈下などの発災後直後の対応は、土のうによって擦り付けて道路啓開を実施することが一般的な方法となっている。

本論文は、災害レジリエンスの向上を目指して開発した高強度で長期耐久性を有する土のうについて報告するものである。

キーワード 災害、レジリエンス、BCP、道路啓開

## 1. はじめに

地震等の大災害が発生した場合、道路管理者としての最優先は「道路啓開」であり、この道路啓開がなければ救急業務、避難誘導、点検・復旧、物資輸送、各種支援等の社会的活動の復旧はできない。

本論文は、土のうを作り置き備蓄することによって、災害時の初動対応の迅速化を図り、社会的影響の最小化（災害レジリエンス）に貢献することを目的とした土のうについて報告するものである。

## 2. 災害レジリエンス（縮災）とは

災害レジリエンス（縮災）とは、図-1の概念図のとおり、「被害を減らすと同時に、復旧までの時間を短くすることにより、社会的影響の最小化を図ること」と定義し、耐震補強等による被害の軽減策と集中的に復旧対策に取り組む等の復旧時間の短縮策の双方を総合的に行うことによって、災害の影響を最小化することである。

参考に、復旧までの時間短縮効果の指標として、図-2の時間当たりの県内総生産<sup>1)</sup>は、東京都で約106億円（インドネシア1国分相当）、大阪府で約43億円（デンマーク1国分相当）、兵庫県で22億円（ニュージーランド1国分相当）であり、極めて高い経済的影響力を持っており、一刻も早く道路啓開を実施して、大地震による被害を復旧し、社会経済活動を立ち直らせる必要がある。

今回報告する縮災土のうは、長期耐久性のある土のうを作り置き備蓄しておくことにより、地震災害時の救急業務の根幹である道路啓開の迅速化ひいては早期の復旧・復興に貢献する材料として開発した製品である。

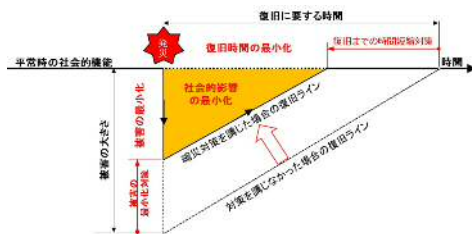


図-1 災害レジリエンス（縮災）の概念図

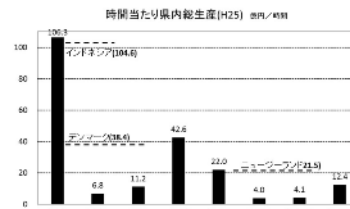


図-2 時間当たり県内総生産

## 3. 地震災害時の段差等の対応と振り返り

地震が発生すると橋台、カルバートボックス、盛土、切土、切盛境、トンネル等に高い確率で段差が発生する。発災初期段階は、人手、機械などが集中できないことから簡易な土のうを用いて道路啓開を実施し、救急業務、路上放置車両の排除、道路構造物の緊急点検及び応急復旧等の初動対応を行う方法が一般的である。

中越地震による道路啓開の振り返りでは、「400袋の作り置き土のうにより初動対応を図ったが、結局土のうが不足し、急遽4000袋を追加することとなり、人手が少なく中で土のう作りに時間を費やし、土のうの事前備蓄が必要だった」等の意見があり、事前配備の重要性が認識されている。

#### 4. 路面変状の形態と震度階級の関係

##### (1) 路面変状の形態

過去の地震事例を基に地震時の路面変状の形態は、a～dの4形態に分類され、dに行くほど被害の程度が大きくなり、道路啓開までの時間が長期化する傾向にある。

##### a) うねり(コルゲーション)

定義としては、路面の縦断線形は連続しているが縦断線形が不規則に波をうった状態で、走行不可能といった状況ではなく、車両の走行速度は低下するものの、地震発生初期段階での道路啓開に支障を来すことは少ない。



写真-1 路面のうねり(熊本地震)<sup>8)</sup>

##### b) 段差

定義としては、縦断線形が局所的に変化している状態である。この段差量が大いいと路上放置車両の排除、道路構造物の緊急点検及び応急復旧等の初動対応に支障となることから、初動時は土のうなどを用いて道路啓開をすることが一般的である。主な段差の種類を、写真-2～8に示す。



写真-2 橋台部の段差(中越沖地震)<sup>7)</sup>



写真-3 C-Box部の段差(中越地震)<sup>9)</sup>



写真-4 橋梁伸縮装置部の段差(熊本地震)<sup>8)</sup>



写真-5 埋設物の浮上による段差(中越沖地震)<sup>9)</sup>



写真-6 埋設物の沈下による段差(中越地震)<sup>6)</sup>



写真-7 液状化地盤の沈下による段差(中越地震)



写真-8 地盤の隆起による段差(中越沖地震)<sup>4)</sup>

##### c) 亀裂

定義としては、路面が局所的に引裂かれて平面的連続性を大きく失った状態であり、段差を伴うこともあり、崩壊の一手手前の状態でもある。段差と同様に、初動時は土のうなどを用いて亀裂を埋めるなどの対応を図って道路啓開をすることが一般的であるが、余震等で崩壊につながる危険性があるので周囲の安全を確認することが必要である。主な亀裂の種類を、写真-9～10に示す。



写真-9 亀裂による段差(熊本地震)<sup>8)</sup>



写真-10 切盛境の亀裂による段差(中越沖地震)<sup>7)</sup>

##### d) 崩壊・破壊

定義としては、道路としての機能を著しく失った状態。道路啓開を実施する際は、崩壊部分の状況を調査し、安全を確保しながら道路啓開を実施することが必要で、特に大型機械や大型土のう、矢板等を用いて応急復旧するケースが多く、道路啓開までに相当の時間を要する。このようなケースでは、迂回ルートを検討する必要がある。主な崩壊・破壊の種類を、写真-11～15に示す。



写真-11 盛土の崩壊(中越地震)



写真-12 沢地形部の盛土の崩壊(中越地震)



写真-13 切土の崩壊(熊本地震)<sup>8)</sup>



写真-14 落橋  
(熊本地震)<sup>6)</sup>



写真-15 トンネル覆工の破壊(中越沖地震)<sup>7)</sup>

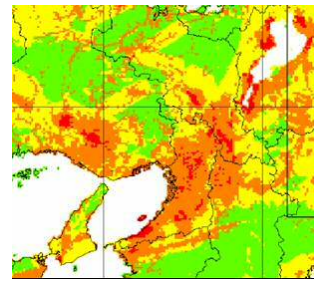


図-6 予防対策用震度分布図(内閣府)

(2)通行止めと震度階級の関係

新潟県中越地震における国道(直轄+県管理)の通行止めと震度階級<sup>2)</sup>の関係は、図-3のとおり、震度階級が上がるほど通行止め箇所は増えることがわかる。

また、通行止めの原因としては、図-4のとおり土のうで道路啓開が可能な沈下、段差が約5割を占めており、これに対応するための土のうの事前配備は、迅速な道路啓開はのために有効なツールといえる。

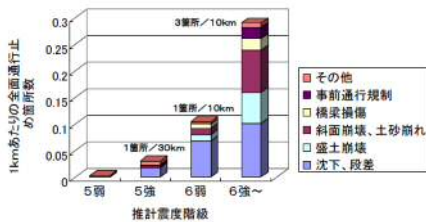


図-3 中越地震における震度階級と通行止め箇所<sup>2)</sup>

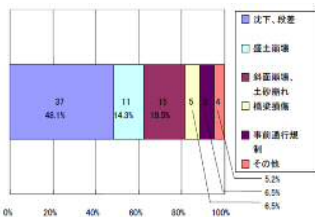


図-4 中越地震における通行止めの原因内訳<sup>2)</sup>

(3) 段差量と震度階級の関係

新潟県中越地震と能登半島地震における段差量と震度階級は図-5のとおり、震度が大きくなれば段差量も増えていくことが分かる。また、図-6の震度分布図によれば、近畿周辺の社会活動が行われている範囲は、震度6強以上が多くを占め、多数の段差等の発生が予測されること、この範囲には緊急輸送道路が多く含まれており、道路啓開のための事前準備をしておく必要がある。

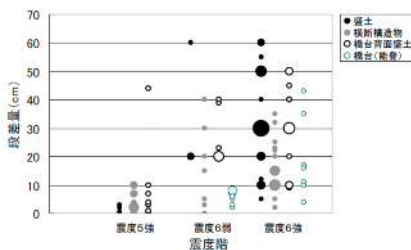


図-5 新潟県中越地震と能登半島地震における段差量と震度階級<sup>2)</sup>

(4)中越地震における高速道路での段差

2004年に発生したM6.8、震源の深さ約13Kmの内陸直下型地震である中越地震では、関越道、北陸道83.4Kmのうち、段差対策が必要な5cm以上の段差が66か所発生<sup>2)</sup>、上下線トータルで換算すると2.5Kmに1か所の割合で土のう等による段差対策の必要性があった。一番多い段差の範囲は、25~50cmの高さであった。(表-1)

表-1 新潟中越地震における高速道路の段差

段差の範囲	0-5	5-10	10-15	15-20	20-25	25-50	50<	計	平均
段差箇所数	17	6	12	5	12	21	10	83	23

5. 作り置き土のうの配備による効果の試算

前章4(4)を基に、段差想定適所に土のうを事前配備している場合と、発災後に土のうの製作を開始する場合の道路啓開ダイアグラムの比較は、図-7のとおり、前者は、基地参集後に道路啓開に出発し、順次前に進みながら効率的に道路啓開ができるが、後者は、参集後の土のう製作待ち、基地から現場までの往復移動時間のロス、特に基地から遠い現場ほど移動時間ロスが大きくなり、道路啓開時間が前者より劣る。また、前者は、土のうを製作するための人員・機械等の省力化が図られる。

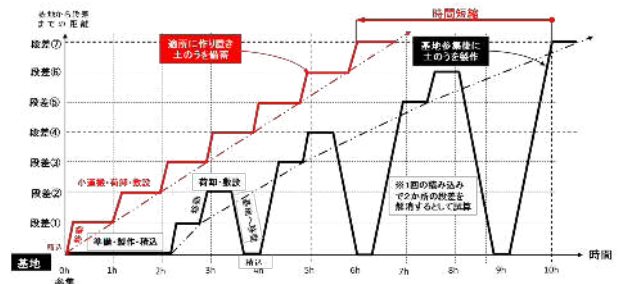


図-7 道路啓開ダイアグラムの試算

6. 現在普及している土のうの問題点と解決策

現在、一般に普及している土のうは、ポリエチレン(PE)またはポリプロピレン(PP)を生地とした土のうであり、以下の問題点が主にあげられる。

- ① 大型車両の通過に耐え得る強度がなく、繰返し受ける緊急輸送車両等による土のうの破損が懸念される。
- ② 現在確認されている耐候性の期間は、最長のもので3年と短く、数年放置すると写真-16のように劣化が進行し、作った状態での長期保管はできない。

- ③ 車輪等によるスタックに耐えられる引裂き抵抗性が弱く、土のうがすぐに破れやすい。
- ④ 燃焼性があり、存置期間中の野火等で焼失する。

これらの解決策として、高強度、長期耐候性、耐薬品性、耐熱・耐寒性、耐火性等を有する玄武岩を素材とするバサルト繊維を使用して土のう(縮災土のう)を開発することとした。



写真-16 朽ち果てた土のう

## 7. 要求性能と試験結果

高強度で長期耐久性・保管性等を有する土のうとして求める要求性能は、以下の項目とし、確認試験等を実施した。

### (1)大型車両の通過に耐えられる強度

道路啓開時は、路上放置の大型車両及び災害応援、緊急輸送等の大型車両 100kN(T25)の輪荷重に耐える性能を必要とするため、下記の Matsuoka and Liu の式<sup>3)</sup>に基づいて算定した 270N/cm 以上の引張強度を生地の要求性能とした。

$$F = 2T \times \{(B/H) \times K_p - 1\} \times L$$

ただし、 $K_p = (1 + \sin\phi) / (1 - \sin\phi)$   $F_s$ (安全率)1.5

F:土のう強度, T:土のう袋材の引張強度(kN/m)

B:土のうの幅(0.4m), H:土のうの高さ(0.08m)

L:土のうの奥行(0.4m),

$\phi$ :土のうの中詰め材の内部摩擦角 30° の砂と仮定

確認試験として、車両総重量 20 t に調整したダンプトラックを通過させたところ、従来土のうは、一軸目通過の段階で破損したが、縮災土のうは複数回通過させても破損しないことが確認された。



写真-17 従来土のう(左)と縮災土のう(右)の大型車による耐久性

### (2)長期耐久性

作り置きとして長期備蓄に耐えられる耐候性として、促進暴露試験(JIS L 1096)で 20 年相当の暴露時間(6000 時間)後においても、要求引張強度 270N/cm に比べ、初期強度で 140N/cm、20 年相当暴露で 612N/cm と大きく上回る性能であることが確認された。(表-2)

なお、現在一般的に販売されている耐候性土のうの耐候性は、初期の引張強度で 128N/cm で、要求性能を満たしていないため、確認試験は実施していない。

表-2 促進暴露試験結果

暴露時間	初期値	6000h	減衰率	備考
縮災土のう	1,407	612	43%	単位: N/cm
一般耐候性土のう	128	-----	-----	
要求性能	270N/cm			

また、事前に基礎試験として実施した生地重量 300 g/m<sup>2</sup> のバサルト生地で長期耐候性を確認した結果は、900 時間(3 年相当)までは強度低下がなく、900 時間から 3000 時間(10 年相当)の間で強度が減衰するものの、3000 時間から 6000 時間(20 年相当)は強度の減衰が見られなかった。この結果から 3000 時間以降は、バサルト繊維の引張強度の閾値と推察され、これ以上暴露しても強度変化は見られないものと思われる。(図-8)

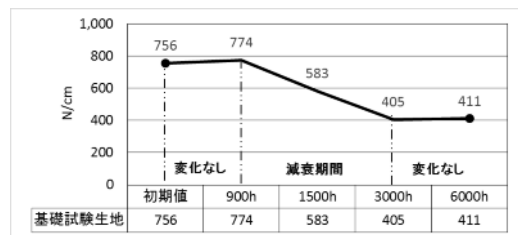


図-8 バサルト生地の促進暴露時間と強度減衰

### (3)落下耐久性

トラックの荷台相当の高さから落下させても破れないことを要求性能とし、確立した試験方法がないため、ダンプトラックの荷台相当の高さ 1.5m から 25Kg の豊浦産標準砂を詰めた土のうを自由落下させ、土のうの破壊状況を確認することとした。(図-9)

試験結果は、参考に試験をした一般耐候性土のうは、1.0m からの落下で砂漏れしたが、縮災土のうは、1.5m から落下しても砂漏れしないことが確認された。(写真-18)



図-9 落下耐久性試験方法



写真-18 従来土のう(左)と縮災土のう(右)の落下状況

(4) 打撃衝撃耐久性

土のうを敷設する際に、カケヤ等で土のうを叩いて整形する場合があります、その打撃によって土のうが破れにくいことを要求性能とし、確立された試験方法はないため、高さ3mから16ポンド(7.26Kg)の鉄球(砲丸)を、30Kgの豊浦産標準砂を詰めた土のうの中央部に自由落下させ、生地が破断するまでの回数をもって確認することとした。

(図-10)

試験結果は、参考に試験をした一般に出回っている土のうは、1回~10回で生地が破断したが、縮災土のうは、87回と従来土のうを大きく上回る打撃衝撃性を有していることが確認された。(表-3)

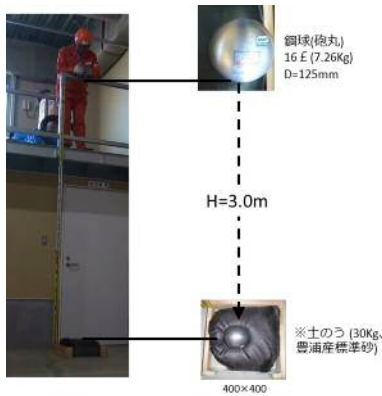


図-10 打撃衝撃試験方法

表-3 打撃衝撃試験結果

種類	落下回数	備考
縮災土のう	87.0	縦横縫製タイプ
一般土のう①	6.0	
一般土のう②	9.3	
一般土のう③	4.0	
一般土のう④	1.0	
一般土のう⑤	2.3	ずん胴タイプ

(5) 耐引裂き性

敷設した土のうは、写真-19のように車輪のスタックより破断したり、長期現場存置中の動物等の爪等によって破断する場合がありますため、釘などによる引裂き性能を評価基準とした消防服の基準(100N)を準用した。

試験結果は、一般耐候性土のうは、基準を満たしてはいるが、縮災土のうは、基準を大きく上回る292~294 Nと十分な引裂き特性を有していることが確認された。(表-4)



写真-19 スタックにより破断した従来土のう

表-4 引裂き強度試験結果

種類	たて	よこ	備考
縮災土のう	292	294	単位:N
一般耐候性土のう	89	66	
準用基準	100N以上(防火服の引裂き抵抗性)		
確認方法	JIS L 1096 A-1 シングルタング		

(6) 耐薬品性・耐熱性・耐寒性

土のうが、酸性、アルカリ性、塩水、高温、低温の環境下でも使用に耐えられることを要求性能とし、試験方法及び試験項目は、「耐候性大型土のう」の性能評価試験<sup>9)</sup>に準拠して確認した。

試験結果としては、どの環境下においても初期強度から大きく強度低下することがなく、要求性能270N/cmが確保されていることが確認された。(表-5)

表-5 耐薬品性・耐熱性・耐寒性試験結果

種類	耐酸性	耐アルカリ性	耐塩性	耐熱性	耐寒性	備考
縮災土のう	1,393	1,238	1,469	1,216	1,535	単位:N/cm
	硫酸(pH2)	水酸化Na(pH12)	5%NaCl水溶液	60±2℃ 2時間	-25±2℃ 2時間	
要求性能	270					
確認方法	JIS K 7114準用			JIS Z 1651準用		

(7) 燃焼性

土のうを作り置きとして長期の備蓄期間内に、野火、車両火災等によって燃えないことを要求性能とし、試験方法はJIS L 1091により確認した。

試験結果は、自消性であることを確認した。(表-6)

また、簡易的にガスバーナーで炎を近づけて確認した結果は、写真-20のとおりPE製の従来土のうは、炎を近づけた段階で溶けて機能を失ってしまうが、縮災土のうは燃焼することなく機能を維持することが確認された。

表-6 燃焼性試験結果

種類	残炎時間	燃焼長さ	燃焼区分
縮災土のう	0秒	3.3cm	自消性
準用基準	20秒以下	10cm以下	自消性
確認方法	JIS L 1091 B法		JIS D 1201

試験機関: 日本繊維製品品質技術センター



写真-20 PE製土のう(左)と縮災土のう(右)の燃焼性

(8) 環境特性

土のうを作り置きとして長期間備蓄する際に、有害物質の溶出や水質汚濁を招かないことを要求性能とし、試験方法及び試験項目は、「耐候性大型土のう」の性能評価試験<sup>9)</sup>に準拠した。

試験結果は、重金属の溶出や水質汚濁は招かないことが確認された。(表-7)

表-7 溶出試験結果

項目	カドミウム	鉛	重金属	過マンガン酸 カリウム消費量	蒸発残留物
結果	検出せず	検出せず	検出せず	18 μg/ml	12 μg/ml
準用基準	有害物質を検出しないこと			25 μg/ml以下	500 μg/ml以下
	昭和34年厚生省告示第370号			公衆浴場 水質基準	水道水基準

試験機関: 日本食品分析センター



写真-21 防災訓練時の土のう敷設訓練

(9) 排水・透水性

土のうは、適切な排水・透水性を有することを要求性能とし、試験方法及び試験項目は、「耐候性大型土のう」の性能評価試験<sup>9)</sup>に準拠した。

試験結果は、砂～礫相当の透水係数を有することが確認された。(表-8)

表-8 開口径及び透水係数試験結果

項目	開口径 (mm)	透水係数 (cm/s)	備考
縮災土のう	0.424	$1.10 \times 10^{-2}$	透水係数は、 砂・礫相当値
準用基準	1mm程度以下	$1.00 \times 10^{-2}$ 以上	
確認方法	ASTM D 4751	JIS A 1218	
準用基準	「耐候性大型土のう」の性能評価		

試験機関: 日本繊維製品品質技術センター

(4) 軽微な応急復旧の恒久化

縮災土のうは、耐久性が高く燃えにくいことから、写真-22のように、軽微な復旧での恒久対策材料としての使用が可能である。



写真-22 縮災土のうを恒久対策として活用

(5) その他の活用

長期間の保管が考えられる、汚染物質などの保管用として活用が可能である。

8. 縮災土のうの活用方法

(1) 基地等への配備

防災拠点、インターチェンジ、道の駅・SA等の休憩施設及び未利用地などにファーストエイド材として、配備する。

(2) 段差が予想される付近への配備

橋台、カルバートボックス、切盛境、亀裂の入っている路面、軟弱地盤などで地震が起こった際に段差の発生が予測される場所の近くに縮災土のうを配備する。

例として、のり枠工の中詰材(図-11)、橋台・カルバートボックスのウィング部の洗掘防止材及び遮音壁前面(図-12)などに縮災土のうを備蓄する。

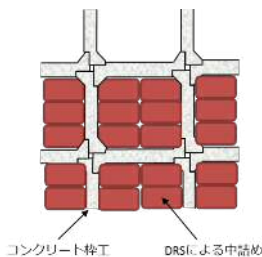


図-11 枠工の中詰材

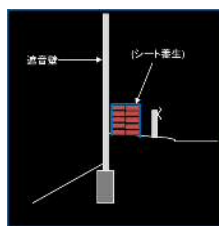


図-12 遮音壁前面備蓄

(3) 防災訓練での活用

縮災土のうは、耐久性が高いことから、防災訓練時(写真-21)に作成する土のうを縮災土のうに変更し、訓練後それを備蓄していくことによって、備蓄量や備蓄箇所を徐々に増やし対応力を強化していくことが可能である。

9. おわりに

今回開発した縮災土のうは、各種試験により、大型車通過に耐えられる性能と長期間の存置に対応する性能を確認することができた。また、この生地を活用したフレキシブル・コンテナ・バッグの開発を進めている。いつ起こるか分からない地震等災害時の道路啓開や応急復旧に備え、平時のうちから準備をしておくことが重要である。

参考文献

- 1) 内閣府経済社会総合研究所(2016年6月): H25年度県内総生産データ
- 2) 新道路技術会議(2008年7月): 道路政策の質の向上に資する技術研究成果報告レポートNo.17-4 研究テーマ: 路機能に基づく道路盛土の経済的な耐震強化・補強技術に関する調査研究開発
- 3) 土木学会論文集(2007年8月): 開発途上国農村部における貧困削減に向けた未舗装道路改修方法
- 4) 新潟県: H19年(2007年)新潟県中越沖地震による被害状況(第5報)
- 5) 日本道路公団北陸支社: H16年新潟県中越地震に伴う高速道路の被災状況及び復旧概要【第3報】
- 6) 国土交通省北陸地方整備局道路部: H16年新潟県中越地震(第一報)
- 7) 東日本高速道路会社: H19年度新潟中越沖地震～高速道路の被災状況及び復旧まで～(第一報)
- 8) 西日本高速道路株式会社: H28年熊本地震による高速道路の被災箇所と復旧状況(H28年4月27日)
- 9) 土木研究センター: 「耐候性大型土のう積層工法」設計・施工マニュアル(H24年3月)