

# アスファルト舗装の地震対策型段差抑制工法

石垣 勉・尾本 志展

日本道路建設業協会

(株式会社NIPPO 研究開発本部 技術研究所 研究第一グループ)



東日本大震災以降、大規模地震災害に強い国土構造への再構築の観点から、災害に強い交通インフラの構築が求められている。これまでの大規模地震に対する舗装の技術的対応として、地震発生後の応急復旧があげられるが、筆者らは新たな舗装の技術的対応として、舗装の震災前対策の実施が重要となると考えている。そこで筆者らが開発したアスファルト舗装の地震対策型段差抑制工法について報告する。

キーワード 大規模地震、震災前対策、地震対策型段差抑制工法、アスファルト舗装

## 1. はじめに

わが国は世界有数の地震発生国であり、過去の地震災害を教訓にして、交通インフラにおける技術的対応を進めてきている。

昭和39年6月に発生した新潟地震（M7.5）では、交通インフラに大きな被害を受けるとともに、その原因の一つである液状化現象の存在が世界的にも広く周知されることになった。これにより、特に臨海部の埋立地盤において、サンドコンパクションパイル等の液状化対策が広く適用されるようになった。平成7年1月の兵庫県南部地震（M7.3）では、道路橋の地震被害が顕在化し、その技術的対応として緊急輸送道路の橋梁耐震補強が実施されてきている。平成16年10月の新潟県中越地震（M6.8）では、直下型地震による地盤災害に伴う道路網の分断の問題が顕在化した。また一般国道や高速道路などの充実した道路ネットワークの構築が、迂回路として災害後の緊急輸送路線の機能確保に寄与することが知られた。

平成19年3月の能登半島地震（M6.9）では、想定されていなかった地域での大規模地震の発生を経験し、道路盛土の崩壊などの地盤災害による交通インフラの被害が発生した。道路盛土の復旧に際しては強化復旧の概念が新たに示され、復旧においてジオシンセティックを用いた補強土工法等が広く採用された。平成19年7月の新潟県中越沖地震（M6.8）では路面の不同沈下（陥没）による交通インフラの被害が多く見られ、道路の車両走行機能の確保が、人命救助や火災等の二次災害のリスク低減において重要であることが認識された。平成23年3月の東日本大震災（M9.0）では、津波による広範囲にわたる大規模被害が発生するとともに、首都圏を中心に臨海部や内陸部の埋立地盤の液状化被害が発生し、大規模地震に対するリスクが顕在化した。今後、東日本大震災の地

震災害を教訓に、大規模地震災害に強い国土構造への再構築の観点から、災害に強い交通インフラの構築に向けた新たな技術的対応が求められるものと思われる。

これまでの大規模地震に対する舗装の技術的対応として、地震発生後の応急復旧、暫定復旧および本復旧にかかわる技術があげられる。特に新潟県中越地震や東日本大震災などにおける高速道路の舗装の応急復旧による緊急輸送路線の早期確保は、わが国の舗装の震災後対策のレベルの高さを国内外に広く知らしめた。

筆者らは、災害に強い交通インフラの要件として、大規模地震発生直後における車両走行機能のリダンダンシーの確保が重要と考えている。特に人命救助や消火活動などの急務な初動に対応するためには、少なくとも緊急輸送路線やライフラインに関わる重要施設内構内道路においては、最低限の車両走行機能を確保しておく必要がある。そこで、筆者らは産学連携共同研究により、舗装の震災前対策工法であるアスファルト舗装の地震対策型段差抑制工法（以下、本工法）を開発した。本報告は、大規模地震に対する新たな舗装の技術的対応の一つである本工法について紹介するものである。

## 2. アスファルト舗装の地震対策型段差抑制工法

### (1) 舗装震災前対策工法の要求性能

道路盛土と液状化地盤における既往の研究成果をもとに、舗装震災前対策工法の要求性能とそのレベルを検討する。

#### a) 道路盛土

常田らの研究グループは、平成16年10月の新潟県中越地震の道路盛土部の調査データをもとに道路施設の被害状況の分析結果を報告<sup>1)</sup>している。これによれば、新潟県中越地震における道路施設の被害のうち、道路の車両走行機能を阻害する主要因は支持基盤の沈下や変形に

伴う路面段差の発生であり、路面段差は 1) 盛土部、2) 横断構造物近傍部、3) 橋台背面盛土部の箇所集中したことを示している。また、これらの箇所が発生した段差量と観測された震度レベルとの関係は、震度5強レベルで最大10cmの段差に対して、大規模地震に分類される震度6強レベルでは、段差発生箇所とその段差量が飛躍的に増加し、最大60cm程度の段差量が発生したことを示している。

### b) 液状化地盤

濱田らの研究グループは、東京湾臨海部の液状化による流動と沈下予測に関する研究において、扇島地区の検討結果を報告<sup>2)</sup>している。これらの地区の埋立地盤は昭和40年代に建設された地盤であり、液状化対策が実施されていない可能性も高いとのことである。本報告が示す扇島地区の液状化対象層の層厚は0mから20mと広範囲に変化し、M6.9の東京湾北部地震を想定した液状化による沈下予測量は0mから80cm程度であることを示している。但し、沈下予測量が80cm程度の最大予測値を示す箇所は側方流動が卓越する護岸近傍に限定されており、一般的な埋立部の沈下予測量は概ね40cmから60cm程度であることを示している。筆者らはこのような液状化が予測される埋立地盤においても、常田らの検討と同様に横断構造物近傍部や橋台背面盛土部での不同沈下に伴う路面の局所的な段差発生が、道路の車両走行機能を阻害するものと考えている。

### c) 要求性能とそのレベル

大規模地震に伴う道路盛土の変形や液状化による地盤の沈下を許容しないことを要求性能とした場合、舗装のみによる技術的対応では現実的に困難であり、地盤改良等の対策が必要となろう。

そこで舗装震災前対策工法の要求性能として、大規模な地震により発生する不同沈下の発生は許容するが、路面の局所的な段差発生を抑制し、最低限の車両走行機能を確保することと筆者らは考えている。また上記の検討より、大規模地震に対する舗装震災前対策工法の要求性能レベルは、最大60cm程度の不同沈下量において道路の車両走行機能を確保することと考えることが妥当といえよう。

## (2) 本工法の構造

本工法は、面状補強材と拘束部材を用いた複合剛性層を路床の上部に構築する路床補強工法である。図-1に本工法の構造を示す。本工法は密実に締め固めた粒状層を低ひずみ・高強度型面状補強材を用いて補強するとともに、拘束部材を用いて粒状層の鉛直方向に拘束力を導入する構造である。本構造の補強メカニズムは、①拘束部材による粒状層への拘束力の導入と②面状補強材と粒状材間の摩擦抵抗力の向上により、③粒状層内に生じるせん断変形を抑制することである。

本工法の構造上の特長は、アスファルト舗装を複合剛

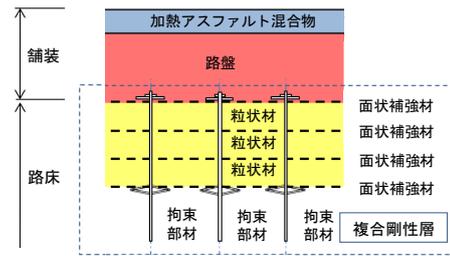


図-1 アスファルト舗装の地震対策型段差抑制工法の構造

性層によって直接支持することである。これにより大規模な地震により発生する最大60cm程度の不同沈下に対して、地震発生直後から本復旧に至るまでの期間における車両の通行を可能とすることである。地震による舗装の崩壊を防止するとともに、アスファルト舗装路面への亀裂や段差の発生を抑制するものである。このため、本工法の適用効果として、地震直後でも緊急・輸送車両の通行が可能となり、特に人命救助や物資運搬などの急務な初動を迅速に行うことを可能とすることが期待できる。本工法の適用箇所と効果を表-1に示す。

表-1 適用箇所と効果

適用箇所	効果
重要路線 緊急輸送路線	<ul style="list-style-type: none"> <li>大規模地震に伴う道路の不同沈下対策として、舗装の崩壊を防止し、路面を滑らかに变形させることにより、通行の支障となる段差の発生を抑制</li> <li>災害時において緊急車両・輸送車両の車両走行性を確保</li> </ul>
緊急車両基地	<ul style="list-style-type: none"> <li>災害時に重要拠点となる施設内道路の車両走行性の確保と構内ヤードの使用性を確保</li> </ul>
切/盛土境界部	<ul style="list-style-type: none"> <li>大規模地震に伴う道路の切土/盛土境界部の不同沈下対策として通行の支障となる段差の発生を抑制</li> <li>緊急車両・輸送車両の車両走行性を確保</li> </ul>
構造物前後・埋設物周囲	<ul style="list-style-type: none"> <li>大規模地震時における構造物前後・埋設物周囲の陥没や段差支障の発生リスクを軽減</li> </ul>
重要施設内の構内道路	<ul style="list-style-type: none"> <li>大規模災害に対する事業継続計画 (BCP) における対策ツールとして、消火活動や復旧作業の遅延などに伴う事業損失リスクの低減</li> </ul>

## (3) 本工法の使用材料

### a) 面状補強材

面状補強材は芯材にアラミド繊維を用いた高強度 (200kN/m) ・低ひずみ (破断ひずみ4.5%) 型の本工法の専用開発品である。写真-1に面状補強材の概観、表-2に面状補強材の諸元を示す。本材料の特長は①材料幅が車線幅員に対応していること、②粒状材と面状補強材間の摩擦力を最大限発揮させる目合い間隔 (26mm×28mm) としたことがあげられる。

### b) 拘束部材

拘束部材は過去に使用実績のある地山補強用アンカー



写真-1 面状補強材の概観

表-2 面状補強材の諸元

項目		内容	
素材	芯材	縦ストランド	アラミド繊維
		横ストランド	—
被覆材		ポリエチレン	
規格	網目	縦方向×横方向	26×28mm
	質量		1050g/m <sup>2</sup>
	品質管理強度	縦方向×横方向	200×5kN/m

を、本工法用に改良した鋼製あと施工型アンカーである。拘束部材の概観を写真-2に、拘束部材のアンカーロッド部の諸元を表-3に示す。拘束部材は複合剛性層の上部より所定深さに打込み、先端部を打込み後に拡大させることで、最下層の面状補強材の下面から拘束力導入時の反力を得ることが特徴である。



写真-2 拘束部材の概観

表-3 アンカーロッドの諸元 (腐食考慮)

位置	部材	降伏耐力 N/mm <sup>2</sup>	断面積 mm <sup>2</sup>	許容引張応力 N/mm <sup>2</sup>	許容引張力 kN
ネジ部	SS400 M24×3	235	3200	140	44.8
ロッド部	SS400 φ22	235	3463	140	48.4

### c) 粒状材料

本工法において粒状材料の選定は重要である。段差抑制効果を発揮させる観点から、締固め材料としてせん断

強度の確保が可能である粒度調整砕石 (M-30またはM-40) を用いることとした。

### (4) 本工法の施工方法

本工法の施工方法は、従来の地盤改良工法と異なり、大型の機械を用いることなく施工が可能である。1車線規制内での作業など狭い施工範囲でも十分に施工が可能であることから、供用中の道路でも適用することができることが特長である。写真-3に本工法の施工状況を示す。

#### a) 面状補強材の敷設

面状補強材の敷設状況を写真-3(a)に示す。基面となる下部路床の整正後、平たんな基面上に面状補強材を敷設する。道路幅員に対応したロール状の面状補強材は容易に敷設が可能である。

#### b) 粒状層の施工

粒状層の施工状況を写真-3(b)に示す。ブルドーザ等を用いて、粒状材料を敷き均し後、振動ローラとタイヤローラを用いて十分に転圧する。粒状層の施工にあたっては、面状補強材を切断しないよう厚層に巻きだしながら、面状補強材がたるまないように、1方向で敷きならしを行うと良いようである。

#### c) 拘束部材の設置

拘束部材の設置状況を写真-3(c)～(e)に示す。拘束部材は支柱打込み機を用いて、所定位置に打込みを行う。本工法では、拘束部材の設置を粒状層の施工後に行うことにより、粒状層を密実に締め固めることが可能となるのが施工上の特徴である。拘束部材の打込み後、専用



(a) 面状補強材の敷設



(b) 粒状材の施工



(c) 拘束部材の打込み



(d) 拘束部材先端部の拡張



(e) 拘束力の導入



(f) 施工完了

写真-3 本工法の施工状況

油圧ジャッキを用いて、拘束部材の先端部を拡大する。拘束部材の先端部を拡大後、ベアリングプレート（150mm×150mmの鋼製反力盤）を設置し、トルクレンチを用いて拘束部材頭部のナットを締め込むことにより、アンカーロードに拘束力を導入する。拘束力の管理はトルクレンチのトルク量で行い、実験で得られたトルク-アンカーロード張力の関係から、拘束力を算出する。本工法では3tの拘束力を標準とした。写真-3(f)に複合剛性層の完了状況を示す。

### 3. 実物大性能確認実験

実物大性能確認実験における本工法の段差抑制性能を写真-4に示す。なお、本実験の詳細については、参考文献3)に詳述しているので参照されたい。

複合剛性層の厚さは60cmとし、面状補強材は20cm間隔で4枚敷設とした。拘束部材は道路幅員方向に60cm間隔、道路縦断方向に45cm間隔とし、格子状に配置した。

試験盛土を強制沈下させることで、大規模地震に伴う不同沈下の発生を再現した結果を写真-4(a)に示す。なお強制沈下量は55cmである。一般的な舗装（右）は舗装に大きな亀裂が発生し、段差が生じているが、本工法（左）では舗装の崩壊を抑制し、路面が円滑に変形していることが分かる。

本工法の段差抑制性能を確認するために、舗装側面を開削した結果を写真-4(b)に示す。複合剛性層は、舗装を十分に支持している。また路面の変形は徐行程度の車両走行を可能とする滑らかな縦断曲線を得ている。なお、写真-4(b)のように段差量が大きい場合は複合剛性層の下部に空洞の発生が見られることから、本復旧段階において撤去・再設置を要するが、段差量が小さい場合は予め設置した空洞充填管による充填を行うことも可能である。

車両走行実験状況を写真-4(c)に示す。実験車両には乗用車、RV車、トラックを用いた。各車両の最低地上高は乗用車が140mm、他の車両は190mmである。本工法では55cmの沈下量に対して、徐行走行による車両の走行が十分可能であった。また、車両底部と路面とのクリアランスは70～100mm程度確保されていたことから、本工法は60cm程度の不同沈下に対しても十分な車両走行性を確保していると考えられる。なお、一般的な舗装乗用車は沈下量20cm、他の車両は沈下量25cmで車両走行が不可能となった。

### 4. おわりに

大規模地震災害に強い国土構造への再構築の観点から、災害に強い交通インフラの構築に向けた新たな舗装の技術的対応として、アスファルト舗装の地震対策型段差抑制工法を紹介した。

本工法は舗装の震災前対策工法であり、震災時におけ



(a) 実物大性能確認実験状況（段差量55cm）



(b) 段差抑制効果の確認（段差量55cm）



(c) 車両走行実験（段差量55cm）

写真-4 実物大性能確認実験<sup>3)</sup>

る緊急輸送路線や重要施設内構内道路における必要最低限の車両走行機能といった要求性能を舗装に付与するものである。大規模地震に事前に備えること、すなわち現在の交通インフラに潜在する震災リスクの低減化を図ることは、大規模地震災害に強い国土構造への再構築と事業存続計画（BCP）の観点において、今後重要な課題の一つとなるといえよう。

最後に、本工法は中央大学研究開発機構（斉藤邦夫機構長、太田秀樹機構教授）、株式会社NIPPOおよび前田工織株式会社による産学連携共同研究において開発した工法であることを付記したい。

### 参考文献

- 1) 依藤ら：地震時の段差被害に対する補修と交通開放の管理・運用方法について、平成19年度近畿地方整備局研究発表会
- 2) 今井ら：東京湾臨海部の液状化による流動と沈下の予測、土木学会第62回年次学術講演会（平成19年9月）、pp.1227-1228.
- 3) 石垣ら：アスファルト舗装の地震対策型段差抑制工法の実物大実験、第29回日本道路会議（投稿中）、平成23年11月。