

アスファルト舗装の地震対策型段差抑制工法とその施工方法

石垣 勉・尾本 志展・根本 信行

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整備とリダンダンシーの向上が求められている。筆者らは、舗装の震災前対策として、大規模地震時に頻繁に発生する舗装の段差支障を抑制し、地震発生直後の車両走行機能の確保を要求性能とするアスファルト舗装の地震対策型段差抑制工法を開発した。本報告では、アスファルト舗装の地震対策型段差抑制工法とその施工方法について述べる。

キーワード：アスファルト舗装、大規模地震、震災前対策、段差抑制性能

1. はじめに

世界有数の地震発生国であるわが国は、過去に発生した大規模地震災害を教訓にして、道路の耐震性向上に係る技術的対応を進めてきた経緯がある。

新潟地震（昭和39年6月、M7.5）では、大規模な液状化が発生し、橋梁や道路などの交通インフラに大きな被害を受けた。この地震により、液状化現象の存在とその被害の大きさが世界的にも広く周知されることになった。その技術的対応として、臨海部の埋立地盤などにおいて、サンドコンパクションパイル等の液状化対策工が適用されるようになった。

兵庫県南部地震（平成7年1月、M7.3）では、道路の高架橋脚の倒壊などの構造物の大規模な損傷が発生した。その技術的対応として、緊急輸送道路の橋梁耐震補強プログラムが実施された。これらの橋梁耐震補強対策の優れた効果は、東日本大震災においても実際に確認されている。

新潟県中越地震（平成16年10月、M6.8）では、直下型地震による道路盛土の崩壊と構造物取付部の不同沈下に伴う道路の段差支障が発生した。災害時の緊急輸送路線の確保において、一般国道や高速道路が迂回路として大規模災害後の復旧活動に大きく寄与した。充実した道路ネットワークを構築することが重要であることが広く知られた。

能登半島地震（平成19年3月、M6.9）では、未想定地域での大規模地震の発生を経験した。道路盛土の多数箇所において、大規模なすべり崩壊などの地盤災害が発生した。これらの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た。ジオシンセティックスを用いた補強土工法などが強化復旧における新たな技術的対応として広く適用された。

新潟県中越沖地震（平成19年7月、M6.8）では、一般国道や重要施設内の構内道路において、液状化に伴う構造物取付部の不同沈下に伴う舗装の段差支障が多数箇所が発生した。地震発生直後における人命救助や火災等の二次災害のリスク低減と、企業における事業継続計画（BCP）において、道路の車両走行機能の確保が重要であることが再認識された。

東日本大震災（平成23年3月、M9.0）では、これまでの想定外の大規模地震が発生した。津波による広範囲にわたる大規模な被害が発生した。道路の構造物取付部の不同沈下に伴う舗装の段差支障が顕在化した。また、震源地より離れた首都圏において、長周期地震動による液状化被害が発生した。東日本大震災の発生により、わが国が潜在的に抱える大規模地震に対するリスクが明らかになりつつある。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整備が強く求められているといえる。

大規模地震における舗装の技術的対応として、応急復旧、暫定復旧および本復旧があげられる。舗装の「応急復旧」の目的は、緊急輸送車両の最低限の走行性を確保することである。段差支障が発生し、交通の阻害が発生した箇所において、土のうや碎石などを用いて一時的なすりつけを行うものである。「暫定復旧」の目的は、応急復旧終了後、車両走行機能を回復させることである。応急復旧箇所をアスファルト混合物によ

るすりつけに置き換えるものである。「本復旧」とは、本来の舗装の機能に完全に回復することを目的に、舗装損傷状況に応じて、舗装の打換えやオーバーレイなどを行うものである。これらは舗装の「震災後対策」といえる。新潟県中越地震や東日本大震災では地震発生直後に迅速な応急復旧がなされた。これにより緊急輸送路線が早期に確保された。このことは、わが国の舗装の震災後対策レベルの高さを国内外に広く知らしめることになった。

筆者らは、大規模地震に対応する交通インフラのリダンダンシー向上の要件として、「地震発生直後における舗装の車両走行機能を確保すること」が重要と考えている。大規模地震発生直後において、人命救助や緊急物資輸送などの急務な初動と復旧活動を迅速に実施することを可能にすることがその目的である。これは舗装に最低限の車両走行機能を確保を要求性能とすることであり、舗装の「震災前対策」として舗装に予めこの性能を備えておくという考え方である。

筆者らは、舗装の新たな技術的アプローチである震災前対策技術として、地震発生直後の舗装の車両走行機能を確保を要求性能とする「アスファルト舗装の地震対策型段差抑制工法」を開発した。

本報告は、アスファルト舗装の地震対策型段差抑制工法と、その施工方法について述べるものである。

2. アスファルト舗装の地震対策型段差抑制工法

(1) 要求性能

依藤ら¹⁾は、新潟県中越地震における道路盛土部の被害状況に関する分析結果を報告している。これによれば、道路施設の被害において、舗装の車両走行機能を阻害する主な要因は、支持基盤の沈下や変形に伴う路面段差の発生である。その被害箇所は盛土部、横断構造物近傍部、橋台背面盛土部に集中した。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10 cm、大規模地震に分類される震度6強レベルでは、最大60 cm程度の段差量が発生した。

今井ら²⁾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している。これらの地区の地盤は、昭和40年代に建設された埋立地盤である。この年代に建設された埋立地盤では液状化対策が未実施の可能性も高いことである。本報告が示す扇島地区の液状化対象層の層厚は0 m～20 mと複雑に変化している。東京湾

北部地震(M6.9)を想定した液状化沈下予測量は0～80 cm程度である。但し、沈下予測量が80 cm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いる。一般的な埋立部の沈下予測量は概ね40 cm～60 cm程度であることを示している。

要求性能として、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とした場合、舗装面による技術的対応では、現実的に困難であろう。セメント系固化処理やサンドコンパクションパイルなどの地盤改良による地盤の耐震対策が有効である。しかしながら、供用中の道路においてこれらの対策を実施することは、工事規制や仮設ヤードの確保など、現実的に多くの制約もあるものと思われる。

そこで舗装の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、大規模地震に対する舗装震災前対策工法の要求性能のレベルは、前述の報告によれば、「最大60 cm程度の不同沈下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であろう。

(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、拘束部材による粒状層への拘束力の導入と面状補強材と粒状材間の摩擦抵抗力の向上により、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60 cm程度の不同

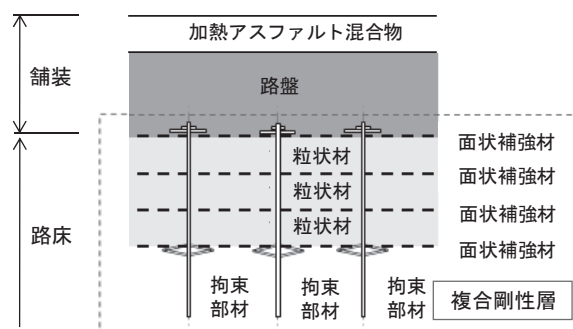


図-1 本工法の構造

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が可能である。地震による舗装の崩壊を防止するとともに、アスファルト舗装が本来有する変形追随性を生かして、滑らかに路面を变形させることで、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、本工法を構造物取付部などの段差支障が想定される箇所に適用することで、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が可能とすることが期待できる。

(3) 使用材料

本工法において粒状材料の選定は重要である。段差抑制効果を十分に発揮させる観点からである。筆者らが過去に実施した実験結果より、締固め材料としてせん断強度の確保が可能であり、土材料と比較して品質が均一な粒度調整砕石が最適であると考えている。

面状補強材は、芯材にアラミド繊維を用いた高強度(200 kN/m)・低ひずみ(破断ひずみ4.5%)型の本工法用の専用開発品である。写真-1に面状補強材を示す。本材料の特長は、①高強度かつ低ひずみであること、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(26 mm × 28 mm)としたことである。

拘束部材は、過去に使用実績のある地山補強用アンカー材を、本工法用に改良した先端拡大型拘束アンカー材である。拘束部材を写真-2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反力を得ることが特徴である。



写真-1 面状補強材

写真-2 拘束部材

(4) 本工法の段差抑制性能³⁾

(a) 実物大実験の概要

大規模地震時の不同沈下に対する本工法の段差抑制性能と構造安全性の確認を目的に、試験盛土による実物大実験を実施した。試験盛土の概要を図-2に示す。

本工法の複合剛性層の厚さは60 cmとした。面状補強材は20 cm間隔で4枚敷設とした。拘束部材は道路幅員方向に60 cm間隔、道路縦断方向に45 cm

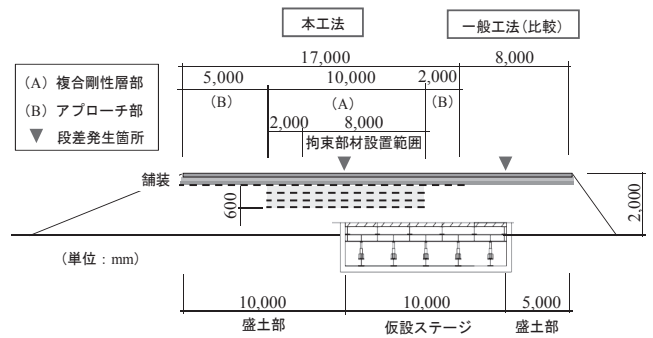


図-2 試験盛土の概要

間隔とし、格子状に配置した。実験方法は、試験盛土の中央区間に設置した仮設ステージを、10本の油圧ジャッキにより強制沈下(沈下量0~55 cm)させることで、不同沈下発生を再現した。

(b) 段差抑制性能

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-3に示す。なお強制沈下量は55 cm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。

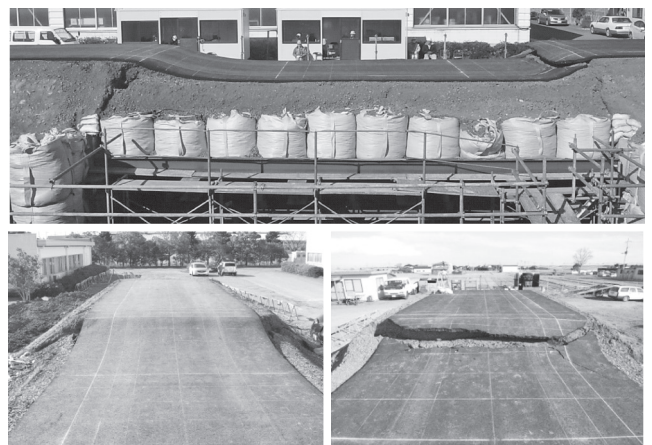


写真-3 本工法の段差抑制性能

本工法の道路縦断方向の路面変形状況を図-3に示す。本工法は、沈下量が大きくなっても、十分な段差すりつけ長を有し、路面が滑らかに変形する特徴を有していることがわかる。

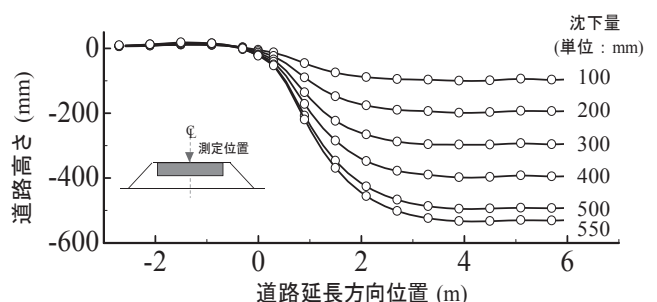


図-3 本工法の道路縦断方向の路面変形状況

(c) 車両走行実験

沈下量 550 mm における RV 車による車両走行実験状況を写真—4 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 140 mm, 他の車両は 190 mm である。本工法では 550 mm 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 ~ 100 mm 程度確保されていたことから, 本工法は 60 cm 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, 一般工法では乗用車は沈下量 200 mm, 他の車両は沈下量 250 mm で車両走行が不可能となることを確認した。



写真—4 車両走行実験状況

(d) 拘束部材による補強効果

筆者らが, 本工法に拘束部材を用いている理由は, 変形に伴う粒状材のダイレイタンス (体積膨張) の抑制効果を期待しているからである。施工段階では拘束部材に 30 kN のロード引張荷重を導入した。拘束力は大きいほど補強効果が向上すると考えられるが, 本工法では面状補強材の損傷を考慮して 30 kN の拘束力としている。ロード引張荷重は, 時間の経過につれて減少した。粒状層の応力緩和がその原因と考えられる。残留引張力は 10 ~ 15 kN 程度であった。本実験開始後, 沈下量が大きくなるにつれて, 逆にロード引張荷重は増加した。最大ロード引張荷重は 25 kN であった。この荷重の増加は複合剛性層の変形に伴う粒状材のダイレイタンス応力によるものであり, ダイレイタンスの発生を抑制したことには他ならない。つまり, 拘束部材が粒状材のダイレイタンスの発生を抑制することで, 変形に伴う複合剛性層の強度低下を抑制することが力学的に見た本工法の補強メカニズムと筆者らは考えている。

(e) 本工法の破壊に対する安全率

写真—4 より, 複合剛性層の下部には空洞が発生しているが, 複合剛性層が舗装を直接支持することにより, 沈下に伴う舗装の崩壊や亀裂の発生を抑制して

いることがわかる。面状補強材の引張ひずみは, 沈下量 550 mm において最大 1.5% (引張荷重 67 kN/m) であった。ここで, 複合剛性層の構造的限界状態を, 面状補強材の破断による複合剛性層の破壊とみなすと, 沈下量 550 mm の変形直後の短期安全率は面状補強材の製品基準強度 (200 kN/m) をもとに算出すると 3 倍となる。また変形後の面状補強材のクリープ (クリープ低減係数 0.65) を考慮した長期安全率は 2 倍程度である。本工法は耐震補強工法として妥当な安全率を確保していると考えられる。

3. 本工法の施工方法

(1) 施工方法の特長

本工法の施工状況を写真—5 に示す。本工法の施工方法の特長は, 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り, 短期間で構築が可能であることから, 供用中の道路でも十分適用することができることである。



写真—5 本工法の施工状況

(2) 面状補強材の敷設

面状補強材の敷設状況を写真—5 ①に示す。基面となる下部路床の整正後, 平坦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人力により容易に敷設が可能である。粒状層の

施工時にずれ等が発生しないことを目的に、固定ピンを用いて固定している。

(3) 粒状層の施工

粒状層の施工状況を写真—5②に示す。ブルドーザ等を用いて、粒状材料を敷き均した後、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のが良い。

(4) 拘束部材の設置

拘束部材の設置状況を写真—5③～⑤に示す。拘束部材は汎用の支柱打込み機を用いて打込みを行う。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、事前に粒状層を通常の機械施工により、密実に締固めが可能であることが施工上の特徴である。拘束部材の施工手順を図—4に示す。拘束部材を所定の深さまで打込み後（手順1）、反力パイプを反力とし、専用の油圧ジャッキを用いて、ロッドを引き上げる。これにより拘束部材の先端部を拡大させることができる（手順2）。反力パイプを撤去したのち、ベアリングプレート（150 mm × 150 mm の鋼製盤）を設置する。このプレートを反力にして油圧ジャッキ

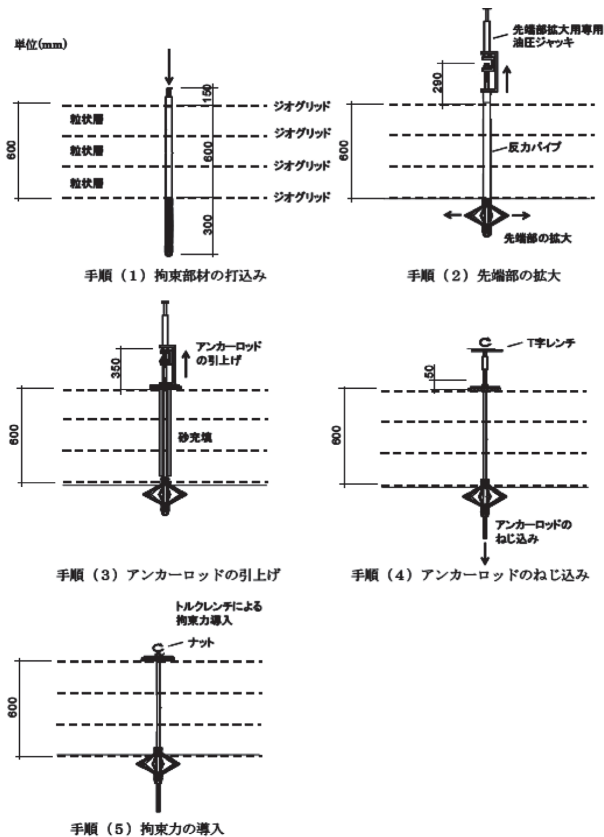
でロッドを引き上げる。拘束部材の先端拡大部を最下面のジオグリッドに密着させることが目的である。その後、反力パイプを撤去する。次に空洞部に砂を充填する（手順3）。T字レンチやインパクトレンチを用いて、引き上げたロッドを下方にねじ込む（手順4）。最後に、トルクレンチを用いて、拘束部材頭部のナットを締込む。これにより、アンカーロッドに拘束力を導入する。拘束力の管理はトルク量で行う。拘束力は実験で求めたトルク—アンカーロッド張力の関係より算出する（手順5）。

4. おわりに

本報告では、アスファルト舗装の地震対策型段差抑制工法とその施工方法について述べた。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整備が求められている。本工法のような災害に事前に備える新しい舗装の技術的対応が大規模地震に対する交通インフラのリダンダンシーの向上の一助になれば幸いである。

なお、本工法は中央大学研究開発機構（太田秀樹教授）、(株)NIPPO および前田工織(株)による産学連携共同研究において開発した工法である。

JICMA



図—4 拘束部材の施工手順

《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回年次学術講演会講演概要集、1-616、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回日本道路会議論文集、論文番号3015、平成23年11月。

【筆者紹介】



石垣 勉 (いしがき つとむ)
(株)NIPPO
研究開発本部 技術研究所
研究第一グループ
主任研究員



尾本 志展 (おもと のぶ)
(株)NIPPO
研究開発本部 技術研究所
研究第一グループ
課長



根本 信行 (ねもと のぶゆき)
(株)NIPPO
研究開発本部 技術研究所
技術研究所長