

## 震災被害軽減に資する舗装技術に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 24～平 25

担当チーム：道路技術研究グループ（舗装）

研究担当者：久保和幸、寺田 剛、藤原 栄吾

### 【要旨】

震災時は被災者の救助や避難、災害地域の復旧活動等を速やかに行うため、舗装の破損を早期に復旧し、緊急通行車両等が速やかに通行できるように補修する必要がある。東日本大震災発生時には多くの舗装技術が活用されたが、復旧方法等の情報収集、分析や技術の検証は必ずしも十分に行われていない。そこで本研究は、震災による舗装の被災状況の実態調査と舗装の復旧事例に関する調査を実施し、震災に強い舗装構造や舗装の早期復旧に寄与する舗装技術をについて検討した。その結果、震度 6 弱以上を記録した地域では舗装に何らかの被害が発生しており、その半数は埋設物に起因する液状化であること、震災直後は資機材の調達が困難であり、舗装の復旧はストック材による補修に頼らざるを得ないことが判明した。これらのことから、埋設物が存在する箇所では液状化対策工法の適用、復旧に際しては震災に備えた補修材のストックが重要であることが分かった。

キーワード：震災、液状化、舗装の復旧、アンケート調査

### 1. はじめに

2011 年に発生した東日本大震災では、多くの人命や財産が失われ、社会基盤が甚大な被害を受けた。道路の被害では、震源地に近いエリアの高速自動車道路、直轄国道や都道府県道等が被災し、特に宮城県仙台市から青森県青森市に至る国道 45 号では、落橋、法面崩壊、舗装の破損等により各地で道路が寸断された。

道路は、被災時に人命救助や緊急物資輸送に必要な車両等の通行を確保する役割を有しており、震災被害の軽減の観点から道路の震災対策は重要な課題といえる。ところが震災による道路の破損を舗装のみで完全に制御することは非常に困難である。近年、地震による不同沈下を許容しつつ段差の発生を抑制して最低限の車両走行機能を確保する工法<sup>1)</sup>も開発されている。こうした工法を橋梁前後等の段差が生じやすい箇所へ適用することで緊急輸送車両の走行機能の確保が期待できる。一方、大地震に備えて全ての道路でこのような対策を実践することは現実的ではなく、震災に強い既存の舗装構造や舗装の早期復旧技術を適用して深刻な被害を防ぐ方策が望まれる。

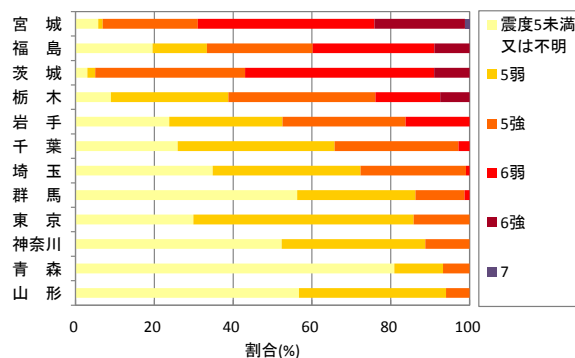
### 2. 研究内容

震災により甚大な被害が発生した場合、道路が寸断されれば資材の調達が困難になり、またライフラインの断絶により停電が発生すれば、アスファルトプラント、砕石工場等の製造拠点も稼働停止を余儀なくされる。こうした中でも震災時には多くの舗装技術が活用

されているが、その技術の検証は必ずしも十分に行われていない。本研究では、舗装の破損と復旧の実態を把握するため、以下の手順で舗装の被災状況と復旧事例を調査して整理した。これらの結果を踏まえて震災被害の軽減に資する舗装技術についてとりまとめた。

#### 2.1 舗装の被災状況の実態調査

地震動による舗装の破損形態は、段差、亀裂、陥没、うねり、層間すべり等がある。破損要因の代表的なものとしては、地盤の変状、液状化、空洞化が想定される。また、特に大きな揺れを観測した地域で甚大な被害が発生すると考えられる。図-1 は、東日本大震災で全震度観測地点の 10%以上で震度 5 弱以上を記録した都県において、震度別の観測地点数の割合を示したものである。これを踏まえ、震度 5 弱以上を観測した地域、ならびに関東・東北地方の特例市以上の大都市を対象に被災状況を調査し、舗装の被災状況とその原因を把握する。代表的な調査内容を次に示す。



①舗装の被災状況について

- ・震災による舗装の被害（有，無）
- ・被災箇所周辺の液状化（有，無，不明）
- ・被災箇所周辺の埋設物（有，無）
- ・補修箇所における路面下空洞（有，無，不明）

②舗装の補修や調査の実施状況について

- ・被災した舗装の復旧状況（有，無，経過観察）
- ・震災対策や舗装の補修における課題

2.2 舗装復旧事例に関する調査

震災後に舗装を早期に復旧するためには、被害を軽減する予防的な措置と震災後の復旧作業を効率的かつ効果的に実施する舗装のクイックメンテナンス技術が重要である。震災後の復旧作業に着目した場合、舗装構造・使用材料と破損の程度の関係、復旧に必要な資機材に関する情報を整理する必要がある。そこで、東日本大震災後の舗装の復旧作業を把握・整理するため、震源から最も近い宮城県に所在する道路関連会社を対象にアンケート調査とヒアリング調査を実施した。

(1) アンケート調査

舗装の破損の程度と範囲、舗装構成、補修の時期等、舗装の破損状況とその要因を把握するためにアンケート調査を実施した。調査項目を表-1に示す。

表-1 アンケート調査項目

項目	回答欄
損傷場所	所在地、路線名
損傷の種類	陥没、段差、ひび割れ、埋設物浮き上がり、その他
損傷の発生原因	液状化、沈下、地震動、その他
埋設物の有無	有（上下水管、ボックスパート、排水溝、その他）、無
道路の利用状況	幹線道路、生活道路、歩道
地形条件	沿岸部、山岳部、その他
損傷の影響	車両通行（可、否）
舗装構成	舗装厚（表層、基層、路盤）
路盤の改良	有（瀝青、セメント、セメント瀝青、石灰）、無
補修の時期・程度	補修年月、応急復旧、本復旧
補修工法	摺り付け、パッチング、シール材注入、オーバーレイ、打ち換え、その他
補修材料	加熱混合物、常温混合物、その他

(2) ヒアリング調査

ヒアリング調査は、アンケート調査で回答を得た道路関連会社を対象に、舗装の補修工法、使用材料、補修作業時に生じた問題や創意工夫した点など、復旧作業に関してより詳細に聞き取りを行った。調査項目を表-2に示す。

表-2 ヒアリング調査項目

項目	内容
補修材料と補修方法	補修工法、作業時間、使用機械、材料の種類、貯蔵性、作業性、耐久性、その他
補修時の問題と対策	資機材の調達面の問題、作業の難易度、補修に際して実施した創意工夫など
補修箇所の優先順位の決定	道路の代替性、住民の要望など
損傷箇所周辺の状況	舗装構造の違いによる損傷の程度の差

2.3 震災被害軽減に資する舗装技術

2.1と2.2の調査結果から、舗装構造や埋設物等による舗装の破損状況の違いを確認した。また、復旧作業で採用した補修工法や使用材料、補修効果を踏まえて震災後の復旧作業を効率的、効果的に実施する上で有効と考えられるクイックメンテナンス技術を取りまとめた。なお、本研究では舗装の復旧を以下のように定義する。

- 緊急復旧：緊急輸送車両の通行を可能とするために実施する仮復旧（震災後1週間程度以内）
- 応急復旧：物資を運送する一般車両の通行を可能とするための復旧（震災後概ね3ヶ月以内）
- 本復旧：元の舗装構造に近い状態に修復するための復旧（震災後概ね3ヶ月以降）

3. 調査結果

3.1 舗装の被災状況の実態調査

舗装の被災状況の実態調査は、2.1に示した地域の自治体に依頼し、宮城、福島、茨城、千葉、岩手の各県と東京都から59件の回答を得た。各自治体の震度別の回答数を図-2に示す。なお、各自治体の震度は、同所在地の震度とした。回答のあった各自治体の舗装の被災状況と補修状況の割合を図-3に示す。図の補修状況は、回答を得た平成24年11月時点のものであり、一部未補修区間、一部経過観察区間は複数回答としてカウントした。

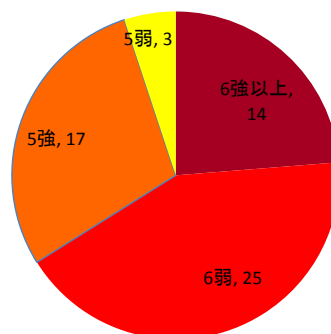


図-2 被災状況の実態調査の回答数（震度別）

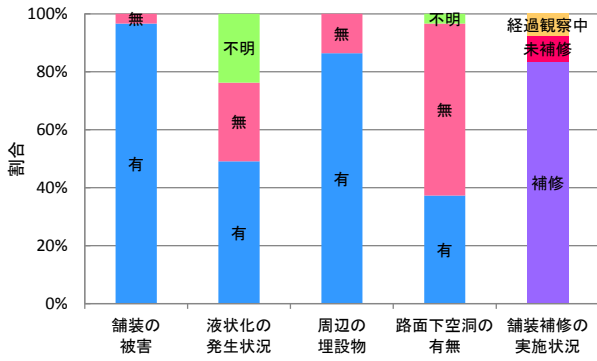


図-3 舗装の被災ならびに補修状況

図-3において、回答のあった自治体のほとんどで舗装の被害が発生しており、特に震度6以上の自治体では何らかの被害が生じていた。また、被害のあった半数の自治体で液状化が発生している。補修の実施状況では、震災から1年半経過した時点でも経過観察や未補修の回答が存在する。次に、周辺の埋設物の有無と液状化や路面下空洞の発生状況の関係を図-4と図-5に示す。道路に埋設物が存在しない事例が少ないため、埋設物と液状化の因果関係を本結果から分析することは難しいが、これらの結果から埋設物が存在する道路で液状化や路面下空洞の発生数が多くなる傾向が見られる。

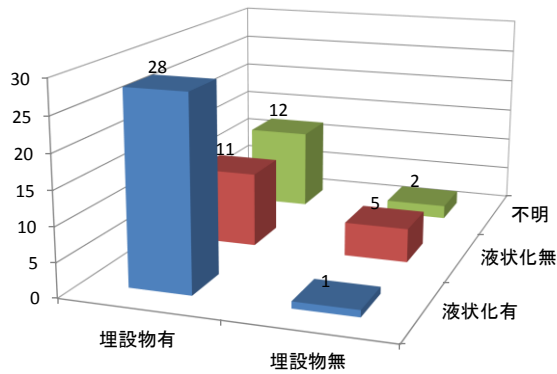


図-4 埋設物の有無と液状化発生状況の関係

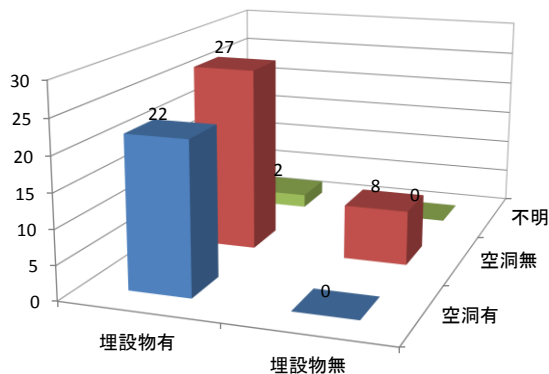


図-5 埋設物の有無と空洞発生状況の関係

また、震災対策や舗装の補修に関する課題として、震災時の埋設物付近の舗装の陥没や沈下を指摘した回答が19件あり、震災から1年以上経過しても路面下空洞に起因する陥没や沈下が新たに発生している事例も報告されている。こうした事例では、補修や路面下空洞調査にかかる費用の負担も大きな問題となっている。

以上の調査結果から、埋設物に起因する舗装の破損の事例が多いこと、震災後も破損が継続的に発生していることが判明した。

### 3.2 舗装復旧事例に関する調査

#### (1) アンケート調査

アンケート調査は平成26年2月に宮城県に活動拠点を有する48の道路関連会社に依頼し、33件（高速道路：7件、国道：5件、県道：14件、市町村道：7件）の回答を得た。なお、回答には宮城県外の復旧事例（岩手県：2件、福島県：7件）を含む。本回答における舗装の破損の種類と破損の原因、地下埋設物の有無の結果を図-6から図-8に示す。

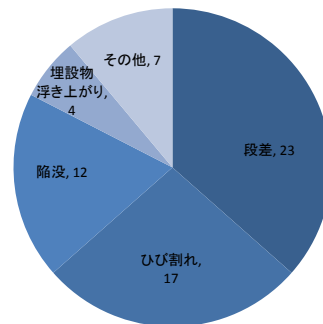


図-6 舗装の破損の種類（重複有り）

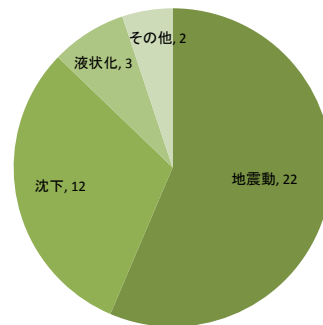


図-7 舗装の破損の原因（重複有り）

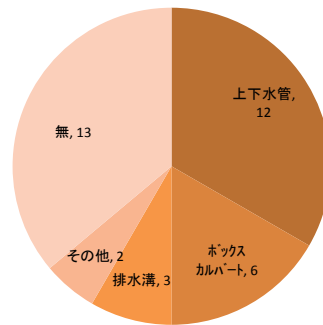


図-8 地下埋設物の種類（重複有り）

図-6 と図-7 より、舗装の破損の種類として段差、ひび割れ、陥没が全体の約8割を占めており、舗装の破損原因として地震動と沈下を回答している割合が高い。本結果から舗装破損の最大の要因は地震動による地盤の変状といえる。図-7 の破損原因の割合をみると、図-3 の舗装の被災状況の調査結果と比較して液状化が原因の破損の事例が少ない。今回の回答では液状化の被害が特に多く報告されている千葉県、茨城県の復旧事例が含まれていないこと、図-8 から、舗装破損箇所に埋設物が存在する割合が図-3 の例よりも少ないことが一因と考えられる。

道路の利用状況の回答では、幹線道路が86%で生活道路が11%(残りが歩道)、地形条件では沿岸部が27%、山岳部が24%、その他平野部で49%、被害の影響として車両走行が不可能となった事例は回答全体の24%であった。また、舗装構造に関する回答では、表層の厚さは4~5cm、基層は高速道路のみ6cm、路盤厚は10~60cmと範囲が大きく、路盤の安定処理の有無については、瀝青安定処理が47%、セメント安定処理路盤が18%、無しが35%であった。ただし舗装構造と破損の種類、後述の復旧の時期や補修工法に関して有意な関係が得られていない。

次に、舗装の復旧時期、舗装復旧で採用した補修工法、補修材料の種類を図-9 から図-11 に示す。

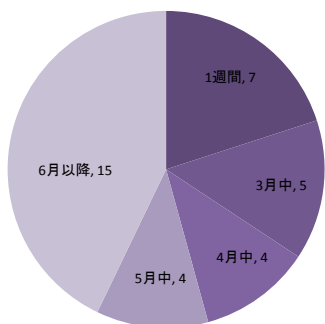


図-9 舗装復旧の時期

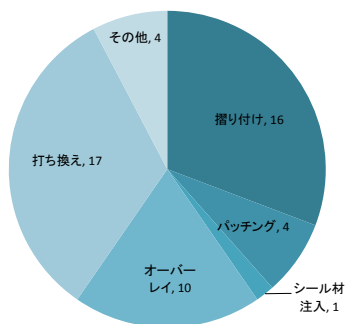


図-10 舗装の補修工法 (重複有り)

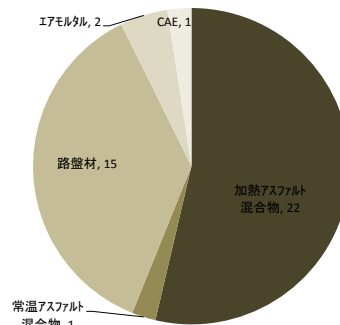


図-11 補修材料 (重複有り)

図-9 より、2011年の5月までに過半数の事例で何らかの手段の復旧が実施されている。また、図-10 において、舗装の補修工法は摺り付け、オーバーレイ、打ち換えが多い。さらに図-11 において、補修に用いた材料として加熱アスファルト混合物を回答したのは半数以上あるが、再生砕石等の路盤材を使用したケースも多い。なお、2011年5月中の復旧の1件(全4件)、6月以降の復旧の8件(全15件)は本復旧である。また、震災後1週間以内の補修は摺り付け、本復旧の補修方法は打ち換えのみである。さらに、震災後、1週間以内に実施された補修の大半で路盤材が用いられている。このように復旧の時期で採用される補修工法、使用材料は異なることから、震災後1週間程度の緊急復旧、概ね3ヶ月以内の応急復旧、3ヶ月以降の本復旧に分けてヒアリング調査を実施することとした。

#### (2) ヒアリング調査

アンケート回答者にヒアリング調査の協力を依頼した結果、13件(高速道路:4件、国道:3件、県道:5件、市道:1件)の復旧に携わった各担当者から承諾を得た。ヒアリング調査では、アンケート調査の復旧事例だけでなく、担当者がその他の業務で携わった事例についても表-2 の項目について聞き取りを行った。ヒアリング調査から判明した事項を以下にまとめる。

##### (緊急復旧)

#### 1) 補修材料と補修工法

- ・段差摺り付けに業者がストックしている砂や砕石などを詰めた土のうあるいは袋詰め常温混合物(発注者が道路の維持でストックしていたもの)を使用
- ・段差修正に敷き均した砕石の上に発注者が準備した鉄板を設置(図-12 参照)
- ・材料承認されていない路盤材、再生アスファルト混合物を発注者の承認を得て使用

#### 2) 補修時の問題と対策

- ・燃料と重機の調達が難しく、保有する機械や状況に応じて人力で対応



図-12 敷き鉄板による段差修正



図-13 一般的な混合物によるオーバーレイ

- ・交通誘導員の手配が困難であり、緊急措置として作業員を充当
  - ・停電のため、有事に備えて非常用発電機を備えているアスファルトプラントにて加熱アスファルト混合物と常温アスファルト混合物を製造・出荷
  - ・発注者の所有する施設の敷地を上記の常温アスファルト混合物やリサイクル材のストック場とし、維持業者が復旧の都度、現場に搬出
- 3) 補修箇所の優先順位の決定
- ・発注者の指示により、緊急輸送道路や幹線道路を優先的に緊急車両が通行できるように処置
  - ・津波の被害箇所では、がれきの撤去を優先(応急復旧)
- 1) 補修材料と補修工法
- ・燃料と重機の調達震災直後よりも僅かではあるが容易となり、機械施工による施工が可能
  - ・再生アスファルト安定処理、一般仕様のアスファルト混合物を用いたオーバーレイなど(図-13参照)
- 2) 補修時の問題と対策
- ・補修作業に伴う渋滞と騒音が発生
  - ・稼働可能なアスファルトプラントが限られており、発注者の承諾を得て調達可能な加熱アスファルト混合物を使用
  - ・交通誘導員の手配が依然困難であり、作業員を充当
  - ・地域や業者によっては、重機や材料が調達可能なケースと非常に困難なケースが存在
- 3) 補修箇所の優先順位の決定
- ・発注者からの指示と請負業者が実施した路面調査に基づいて決定
  - ・発注者の指示や沿道住民の要望により、幹線道路および生活道路を主体に補修

(本復旧)

1) 補修材料と補修工法

- ・発注者仕様のアスファルト混合物による打ち換え(図-14参照)
- ・コンクリート舗装版の下で空洞が発生した箇所ではアーモルタル注入
- ・従前の舗装構成での現状復旧が原則であるが、一部で路盤改良を請負者から提案・採用

2) 補修時の問題と対策

- ・交通誘導員やダンプの手配は依然、困難な状態
- ・特殊工事の専門業者も手配が困難なケースあり

3) 補修箇所の優先順位の決定

- ・請負者の調査(目視、FWD等)結果や専門業者の調査(空洞調査)結果を踏まえ、発注者の指示で実施
- ・沿道住民・道路利用者の要望



図-14 打ち換えが完了した道路

ヒアリング調査の回答から、震災時に補修材料の適用箇所、選定根拠、貯蔵性、耐久性と用途をまとめたものを表-3に示す。表より、緊急・応急復旧ではアスファルトプラントのストック材を適用する割合が高い。

表-3 震災時に使用した舗装材料の適用性

材料			適用箇所	選定根拠	貯蔵性	耐久性	復旧の種別
砕石（再生砕石含む）			緊急輸送道路の段差、幹線道路のひび割れ箇所の路盤	実績	普通	—	緊急・応急・本復旧
土のう（砕石・砂、再生砕石）			段差、ひび割れ箇所	実績	普通	1週間程度	緊急・応急復旧
常温アスファルト混合物	バラ	カットバック系	段差	代用	1ヶ月程度	1週間程度	緊急・応急復旧
		カットバック系	緊急輸送道路の段差	代用	3ヶ月程度	1週間程度	緊急・応急復旧
	袋詰め	全天候型（反応系）	緊急輸送道路や幹線道路の段差	代用	3ヶ月から1年程度	加熱アスファルト混合物と同等	緊急・応急復旧
加熱アスファルト混合物	再生アスファルト安定処理		表層・基層・上層路盤	本復旧を想定	—	2ヶ月程度	緊急・応急復旧
	再生アスファルト混合物（一般仕様）		表層・基層・レベリング	実績	—	普通	応急・本復旧
	アスファルト混合物（発注者仕様）		表層・基層	仕様	—	普通	応急・本復旧

舗装構造の違いにより舗装の破損の程度が異なる事例は、今回のヒアリング調査で1件のみ得た。図-15は、宮城県の県道3号塩釜吉岡線の路面状況を震災後1ヶ月以内に撮影したものである。図の破線より上側の路面ではひび割れやうねり等の破損が発生している。破損が生じていない下側の路面では東日本大震災が発生する前の平成21年度に修繕工事が行われている。図-16にその修繕断面図を示す。本工事で採用された路上再生セメント・アスファルト乳剤（CAE）安定処理路盤工法は、アスファルト乳剤を使用することによりセメント安定処理と比較してたわみ性に優れるという性質を有しており、被害の軽減に寄与したと考えられる。図-17は同修繕箇所の車道部と未処理の歩道部の状況を示している。歩道部のみ舗装の沈下が生じているが、車道部は健全な状態を維持していることが分かる。



図-18 歩道部と車道部の損傷状況（県道3号）



図-16 県道3号塩釜吉岡線の路面状況

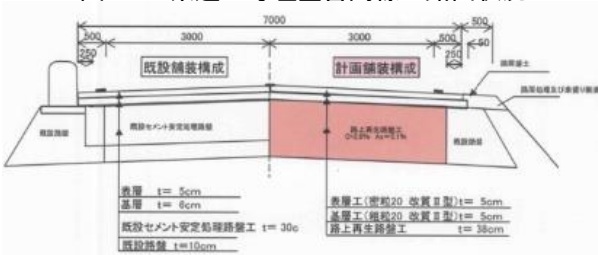


図-17 修繕断面図

#### 4. まとめ

今回実施した舗装の被災状況の実態調査ならびに舗装復旧事例の調査から得た知見を以下にまとめる。

##### (1) 舗装の被災状況の実態調査

震度6以上を記録した地域では何らかの被害が発生しており、特に、埋設物のある路線では液状化による被害が多く発生している。また、埋設物の存在する箇所では路面下空洞も多く発生しており、震災後1年以上経過した後も路面陥没が発生している。津波による洗掘、盛土の崩壊、埋め立て地域の大規模な液状化といった広範囲に及ぶ被害を舗装構造で予防することは現実的ではなく、インフラ全体として対策を講じる必要がある。一方、こうした埋設物に起因する舗装の破損が想定される道路においては、交通量の多い重要路線、高い地下水位、軟弱な地盤等など施工条件に応じた液状化対策工法<sup>3)</sup>を採用できるよう、指針等に反映させる必要がある。

舗装の復旧事例に関する調査において、舗装の破損の種類では段差、ひび割れ、陥没の被害が多く報告されている。震災直後は、ライフラインの寸断により、材料、重機、燃料、人員の全てが調達困難な状況にあ

り、緊急復旧に際しては碎石（再生碎石を含む）、砂、常温アスファルト混合物（袋詰め）等のストック材料を適用した段差摺り付けが大半を占める。応急復旧においても、本復旧を視野に入れて調達可能な材料を用いたオーバーレイが多い。また、本復旧では、目視による調査に加え、FWDを用いて構造的な状態を把握した上で打ち換えを実施するケースもみられる。震災後の材料調達の難しさから、緊急・応急復旧のクイックメンテナンスでは材料の使用制限を設けるべきではない。緊急・応急復旧を迅速かつ適切に実施するため、アスファルトプラントに非常電源を備え、表-3の材料をストックし、震災時には作業性を考慮して常温混合物を製造・提供してストック材と共に緊急・応急復旧に適用することが望ましい。そのためには、これらの材料置き場の確保や緊急時に製造できるように材料のニーズを掘り下げることが望まれる。また、本復旧に際しては、被災状況を踏まえて路盤改良を伴う打ち換えを実施することも検討することも重要である。

震災の被害を軽減する舗装構造については、路上再生CAE安定処理工法で修繕された路線において、隣接する従来の舗装構造の路線よりも被害が小さいことが今回の調査で明らかとなった。破損箇所の補修が完了しているため、破損状況の相違が舗装構造もしくは供用年数の違いによるものか検証することは困難であるが、震災被害を予防する舗装技術として期待できる。

## 5. おわりに

本研究では、震災被害軽減に資する舗装技術の開発を最終目的として、東日本大震災における舗装の被災状況と復旧事例を調査し、幾つか技術開発に繋がる結果を示した。震災による舗装の被害は、舗装構造で対処することが非常に困難なケースも存在する。こうしたなかで、震災を軽減する舗装技術の適用範囲をどのように決定するかが今後の課題といえる。

最後に、本研究にあたりアンケート調査やヒアリング調査にご協力を頂いた皆様に感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 石垣ほか：アスファルト舗装の地震対策型段差抑制工法に関する実物大実験，第 29 回日本道路会議，2011. 11.
- 2) 気象庁：震度データベース検索（地震別検索結果），<http://www.data.jma.go.jp/svd/eqdb/data/shindo/Event.php?ID=175313>
- 3) 国土交通省：東日本大震災における下水道管路施設液状化対策工法の被害状況と今後の課題，[www.mlit.go.jp/common/000193184.pdf](http://www.mlit.go.jp/common/000193184.pdf)，2012. 2.

## STUDY ON PAVEMENT TECHNOLOGY TO REDUCE THE DAMAGE OF EARTHQUAKE

**Budgeted** : Grants for operating expenses

General account

**Research Period** : FY2012-2013

**Research Team** : Road Technology Research Group  
(Pavement )

**Author** : KUBO Kazuyuki

TERADA Masaru

FUJIWARA Eigo

**Abstract** :

We carried out factual survey of the damage of the pavement and investigation about the pavement restoration by the great East Japan earthquake disaster in this study. As a result, some of damage occurred in pavement where the area earthquake measured a lower 6 or more, and soil liquefaction due to an underground facility occurred in half of cases. In addition, the supply of material and the machine was difficult, and road administrators had to depend on the repair by stocked materials.

From these results, we showed that we should apply a soil liquefaction measures method of construction at the point where an underground facility existed and should stock repair materials for an earthquake disaster.

**Key words** : earthquake disaster, soil liquefaction, restoration of the pavement, questionnaire



キーワード

- ・復旧作業におけるニーズを聞き、シーズを考えて既存技術も考慮しつつ、ニーズと既存技術をつなぐ
- ・既存の材料をもっと賢く使う。震災復旧では使用制限を設けない（こういった材料を使用したということを踏まえ）
- ・常温合材の保管技術、賞味期限切れの材料の震災用として適用する、震災時に常温合材のバラを活用できるよう、日頃からこうした材料のニーズを掘り下げておく（いざというときに出荷できるような体制づくり）
- ・地元業者と大手企業の連携（地元企業は被災すると機能不全に陥る可能性があるが、大手は全国から支援ができる。）