

道路政策の質の向上に資する技術研究開発

【研究状況報告書（2年目の研究対象）】

①研究代表者	氏名（ふりがな）		所属		役職	
	八嶋 厚（やしま あつし）		岐阜大学		教授	
②研究 テーマ	名称	道路土工と舗装の一体型診断システムに基づいた長寿命化修繕方法の開発				
	政策 領域	[主領域] 【領域8】道路資産の保全	公募			
		[副領域]	タイプ			
③研究経費（単位：万円）	平成30年度	令和元年度	令和2年度	総合計		
※H30は精算額、R1は受託額、R2は計画額を記入。端数切捨。	1,791万円	1,634万円	2,990万円	6,415万円		
④研究者氏名	（研究代表者以外の主な研究者の氏名、所属・役職を記入。なお、記入欄が足りない場合は適宜追加下さい。）					
氏名	所属・役職					
村田 芳信	岐阜大学 産学官連携研究員					
横田 善弘	前田工織（株）開発営業推進本部 技監					
荻谷 敬三	岐阜大学 産学官連携研究員					
⑤研究の目的・目標	（提案書に記載した研究の目的・目標を簡潔に記入。）					
<p>本研究は、舗装表層の供用年数が使目的に満たず早期に劣化が進行し、補修が高頻度で繰返される区間について、経済的な道路管理の観点からLCC最小化を目指した詳細調査方法の高機能・効率化と抜本的修繕工法の開発を行うことを目的とする。</p> <p>目的達成のため、</p> <p>① 国管理道路、県管理道路、高規格道路等を対象に、提案する舗装と土工の一体型・診断システムを用いた詳細調査を実施し、舗装、路床及び路体（地山）の一体的剛性評価法を確立する。</p> <p>② 提案する各種抜本的修繕工法について、表層劣化の著しい道路において試験施工を実施する他、長期的効果確認のため、補強材内に光ファイバセンサー及び水分センサーを内在した新しいセンシング技術の開発を行う。</p>						

⑥これまでの研究経過

(研究の進捗状況について、これまでに得られた研究成果や目標の達成状況とその根拠(データ等)を必要に応じて図表等を用いながら具体的に記入。)

本研究は、舗装表層の供用年数が使目的に満たず早期に劣化が進行し、補修が高頻度で繰返される区間について、経済的な道路管理の観点からLCC最小化を目指した詳細調査方法の高機能・効率化と抜本的修繕工法の開発を行うことを目的としている。

目的達成のために以下のような研究を継続している。

- ① 国管理道路、県管理道路、高規格道路等を対象に、提案する舗装と土工の一体型・診断システムを用いた詳細調査を実施し、舗装、路床及び路体(地山)の一体的剛性評価法を確立する。
- ② 提案する各種抜本的修繕工法について、表層劣化の著しい道路において試験施工を実施する他、長期的効果確認のため、補強材内に光ファイバセンサー及び水分センサーを内在した新しいセンシング技術の開発を行う。

平成30年度においては、

上記①に関して、繰返し舗装補修が実施されている区間について、FWDと2次元表面波探査を同時進行するハイブリッド点検(自動化統合物理探査という)を実施し、舗装から路体に至るまでの連続的な剛性データを蓄積して診断結果データベースの拡充を行った。

特に、岐阜県管理道安八海津線の平輪橋西約190m間において、4種の上層路盤打替えによる修繕工事を試験施工するとともに、修繕工事前後に自動化統合物理探査を実施し、修繕工事による改良効果の判定と併せた剛性データ情報を収集した。

また、南知多道路美浜地区のMCI調査に基づいて路面の修繕工事が実施された区間において、自動化統合物理探査を実施し、今後の維持管理の高度化を研究するための剛性データを収集した。

さらに、机上調査となるが、中部地方整備局岐阜国道工事事務所管理の国道41号線(延長193km)における修繕工事データから、道路構造物ならびに区間毎に修繕工事頻度を集計することで、ボックスカルバートを含む盛土区間の抜本的修繕の必要性を検討した。

上記②に関して、舗装と土工の特性に基づいた抜本的修繕工法の開発を目途として、瀝青改良体等とジオグリッドの複合構造体を含む各種構造体を上層路盤として用いる新しい修繕工法を提案した。

上層路盤改良として提案する各種構造体の変形特性を確認した。恒久構造として活用するために必要な要求性能(土質材料の種類、充填密度、圧縮変形量等)を決定するために、大型圧縮試験および大型曲げ試験を行った。

また、路床以下の詳細情報を把握している表層の劣化状態が著しい県管理道路において、路盤を対象に、提案する補強材を用いた工法の試験施工を実施するとともに、各工法の施工性の検証及び施工歩掛を取得した。

さらに、長期的な修繕効果確認のために、補強材内に光ファイバセンサーを内在した新しいセンシング技術の開発を行った。そのセンサーを、それぞれの上層路盤直下に設置し、長期的な路盤のひずみ測定を開始した。

その結果、当初計画した現場計測、現場施工、性能確認試験、センサー開発、センサー設置等はずべて達成できた。

しかしながら、以下のような課題も明らかとなった。

- 1) 平成 30 年度に実施した路盤の打替え工事において、ジオセルを敷設した区間では、投入した砕石の締固めが十分にはできないことがわかった。
⇒ 令和元年度においては、ジオセルの格子の大きさや高さを変え、砕石を充填・締固めて、CBR や締固め度などの物性を測定し、路盤に適したジオセルの形状を明確にする必要がある。
- 2) 南知多道路美浜地区の MCI 調査に基づいて路面の修繕工事が実施された区間において実施した自動化統合物理探査の結果から、路盤及び路床の優劣が表層の劣化に大きく影響したことが想定されたが、あくまでも物理探査結果からの想定に留まっていた。⇒ 令和元年度においては、関係各位の協力を得ながら、ボーリング調査等を実施して、自動化統合物理探査の結果から得られた知見と実際の整合性を確認することが重要である。これにより、令和 2 年度に予定されている「自動化統合物理探査結果に基づいた修繕工法選定マニュアルの作成」の基盤情報を得ることができる。
- 3) 令和元年度において、岐阜県管理道において「路盤への水の浸入が疑われる切土区間の予防的修繕の取り組み」が予定されている。
⇒ 令和元年度においては、この取り組みを円滑に進め、本研究の目的達成を加速するためには、新たに路盤内の水分変化を長期的に計測できるセンサーを開発・設置する必要がある。

平成 30 年度の研究成果および明らかとなった課題に基づいて、令和元年度の研究内容を以下の通り計画した。

① 舗装と土工の一体型点検に基づいた診断支援情報の充実化

a 点検データベースの蓄積

1. 南知多道路

ボーリング調査等を実施して、自動化統合物理探査の結果から得られた知見と実際の整合性を確認する。

2. 一般県道福岡坂下線

岐阜県の東濃地方の幹線道路である福岡坂下線は、今後に予想される土砂運搬車両の増大を見越して、A 交通から B 交通 (N5) へ設計条件の変更が予定されている。既に、路面性状調査 MCI に基づいて修繕箇所を選定が済んでいるものの、今回自動化統合物理探査点検により、選定箇所の妥当性評価と長寿命化対策の必要性評価を実施する。

b 点検結果に基づいた道路修繕最適化

1. 一般県道福岡坂下線

自動化統合物理探査点検の結果により、路盤への水の浸入と路盤材料の劣化を抑制するための路盤の修繕方法を提案する。

2. 粒度調整材料の長期繰返し三軸圧縮試験

これまでの点検において、舗装の劣化要因の一つに、路盤内への地下水の浸入が挙げられる。

管理されて構築された路盤に水が浸入することで、どのように材料特性が変化するのかを確認するために、長期繰返し三軸圧縮試験を実施する。

② 舗装と土工の特性に基づいた抜本的修繕工法の開発

a 提案する修繕工法に用いる構造体の性能確認試験

1. ジオグリッドと瀝青安定処理混合物の複合構造体に対する性能確認試験

ジオグリッドと瀝青安定処理混合物を一体化させた複合構造体は、曲げ荷重の作用に対する靱性が大きく向上することを確認された。この複合構造体に対して、繰返し曲げ荷重を与える性能確認試験を行う。

2. ジオセルの締固め試験

ジオセルを用いた路盤補強の適用性を確認するために、中詰め材（粒度調整碎石）を充填したジオセルに対する実物大の締固め試験を行う。

b 試験施工

路盤への水の浸入が疑われる切土区間において予防的修繕工事を実施する。

c 修繕効果確認のための長期的モニタリングシステムの開発

1. 光ファイバセンサーによるひずみの計測技術

平成 30 年に行った岐阜県管理道（安八海津線）における試験施工において、修繕効果の確認をするために設置したジオグリッドセンサーによる路盤のひずみ計測を継続する。

2. 路盤内の水分計測用ジオグリッドの開発

路盤内の水分の変化をモニタリングする技術として、ジオグリッドに電極を挿入し、静電容量式土壌水分計として適用する水分センサーを開発する。開発したセンサーを抜本的修繕工事を行う福岡坂下線の切土区間の路盤に設置する。修繕効果確認のための長期計測を開始する。

以下、令和元年度の研究成果についてまとめる。

① 舗装と土工の一体型点検に基づいた診断支援情報の充実化

a 点検データベースの蓄積

繰返し舗装補修が実施されている区間および今後重交通の著しい増加が見込まれる区間について、FWDと2次元表面波探査を同時進行するハイブリッド点検を実施し、舗装から路体に至るまでの連続的な剛性データを蓄積して点検・診断結果データベースの拡充を行った。

1. 南知多道路

平成30年度に、図-1に示す修繕工事後の区間において、ハイブリッド点検を実施した。この結果、路面性状調査MCIの評価に基づいて実施された舗装修繕が、図-2に示すように、FWD試験による舗装評価の劣る箇所と一致することが確認できた。一方、依然としてFWD試験による評価は十分な改善には至っておらず、今後の舗装の劣化進行が懸念されることが判明した。また、図-3に示すように、物理探査結果からは、対象区間が泥質な地山を切盛されて建設されており、その支持地盤の不均一さが舗装の劣化損傷を速めていると考えられた。さらに、測線後半の比較的規模の大きな谷底低地では、路床改良を伴う丁寧な軟弱層対策が実施されていることが予想され、その結果舗装が長期にわたり安定していると考えられた。

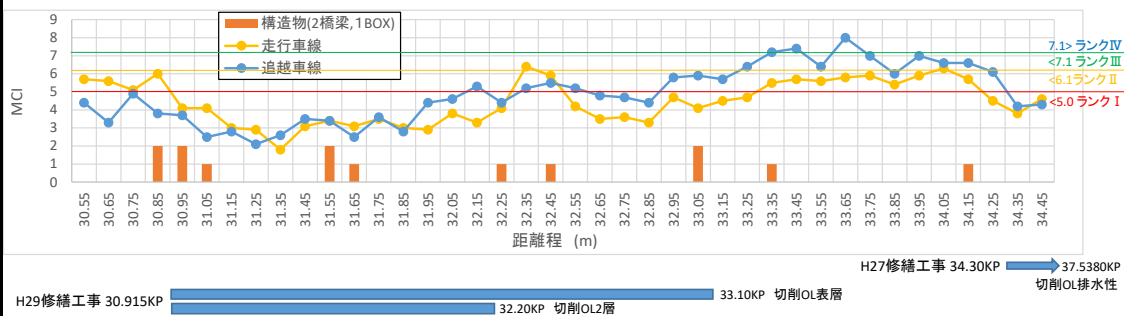


図-1 路面性状調査結果 MCI とこれに基づいて実施された修繕工事箇所

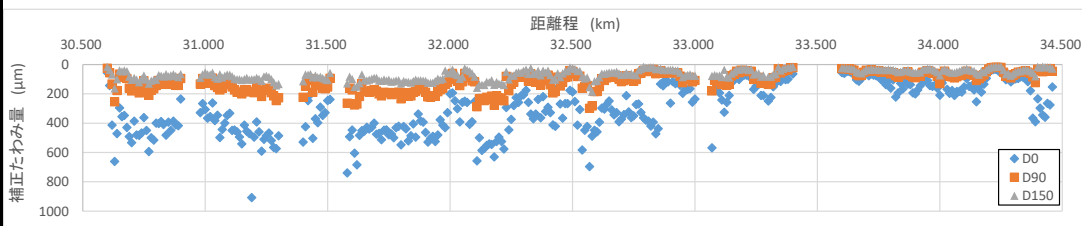
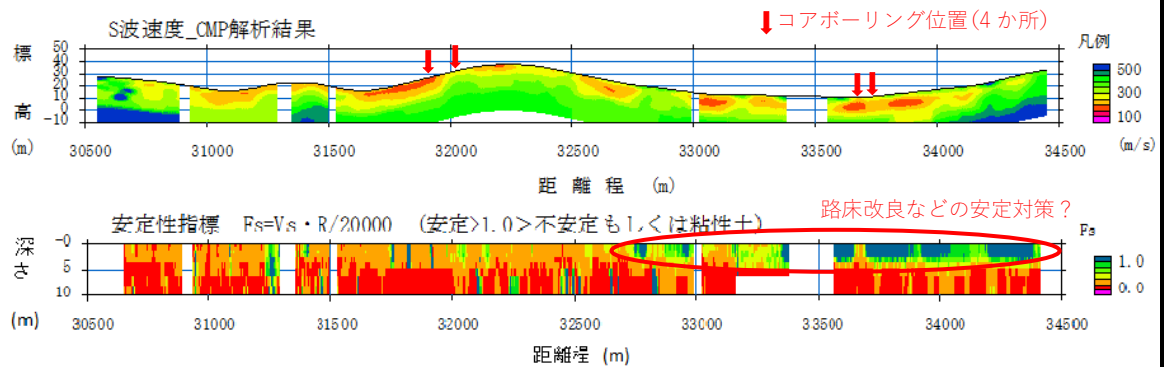


図-2 FWD 試験により計測された補正たわみ量



今、.....のため、管理運営会社の協力により、図-3 に示す位置でコアボーリングによる舗装構造調査を実施した。

写真-1 には、除草作業による走行車線規制下の路面上で実施したコアボーリング作業の様子を示す。図-4 には、深さ 3m までのコアボーリングにより確認された各地点の舗装構造ならびに土質、さらに分析のための試料採取位置 (10 試料) を示す。

No.1 および No.2 地点は、先の修繕工事で 2 層打換えによる厚さ 15cm のアスファルト舗装と直下に 40~45cm の路盤砕石を確認した。また、No.1 地点は地山の泥質軟岩上に礫質材料による盛土層が確認され、No.2 地点は路盤直下に地山の軟岩層を確認した。



写真-1 左より、調査位置 (外側わだちの内側)、舗装刳貫き、コアボーリング状況

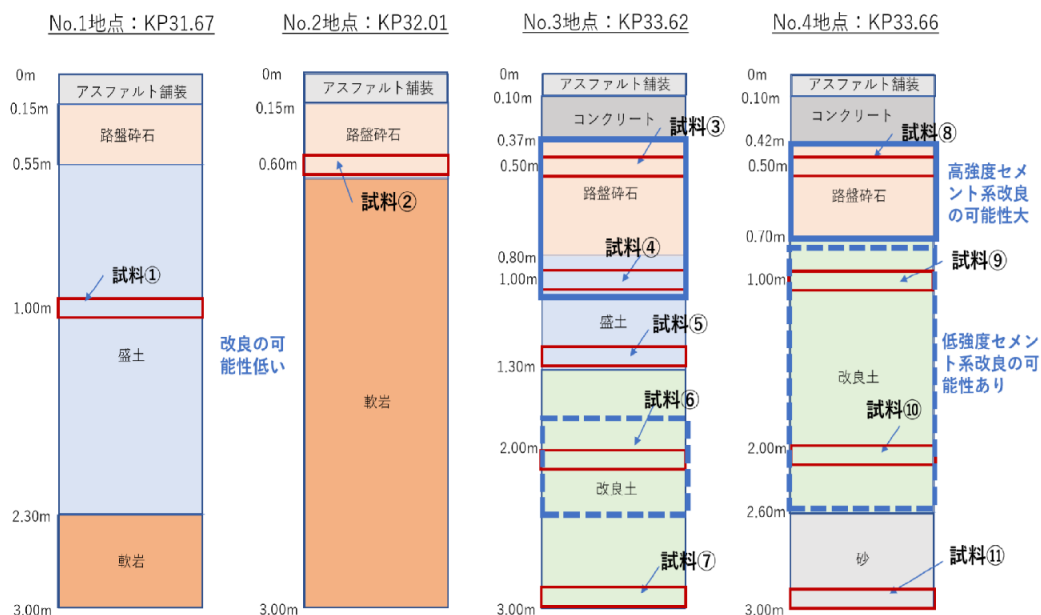


図-4 コアボーリング結果と分析試料の採取位置

No.3 および No.4 地点では、厚さ 10cm のアスファルト舗装直下に 27~32cm 厚のコンクリート路盤が確認され、下位には 30~40cm の路盤碎石、さらに下位には盛土ならびに改良土と考えられる地層を確認した。No.4 地点では深さ 2.6m 以深に均質で緩い自然堆積砂層が地下水位の分布も併せて確認した。

採取試料を用いて、カルシウム含有量・PH・電気伝導度・X 線回析の化学分析を実施した結果、地点 No.1、No.2 と地点 No.3、No.4 ではその性状に明瞭な違いが見られた。地点 No.1、No.2 では改良の可能性は低いのにに対し、地点 No.3、No.4 地点（特に表層付近の路盤碎石）ではセメント系改良の可能性が極めて高い結果となった。地点 No.3、No.4 地点の深部においても 表層ほどではないものの低強度での改良が施されていることが示唆された。この結果を、先の図-4 に表示した。

これらの調査の結果、

- ✓ ハイブリッド点検による評価が、実際の状況を正しく捉えていること
- ✓ 支持地盤の不均一さが路面の劣化進行を促進すること
- ✓ 路床改良による安定した支持力の確保が舗装の長寿命化に大きく貢献することが確認された。

2. 一般県道福岡坂下線

岐阜県の東濃地方の幹線道路である福岡坂下線は、今後に予想される土砂運搬車両の増大を見越して、A 交通から B 交通 (N5) へ設計条件の変更を予定している。既に、路面性状調査 MCI に基づいて修繕箇所を選定が済んでいるものの、今回ハイブリッド点検により、選定箇所の妥当性評価と長寿命化対策の必要性評価を実施する機会を得た。

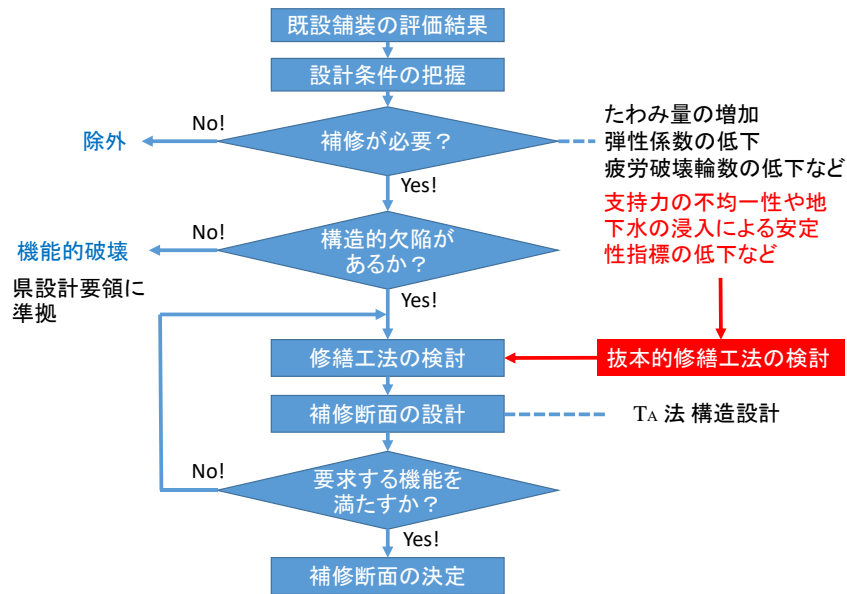


図-5 舗装修繕設計の流れ（提案）

従来の舗装修繕設計に、図-5 に示すように、ハイブリッド点検に基づく具体的な性能評価ならびに舗装の劣化要因の有無に基づいて、抜本的修繕工法の適用を図るものである。

修繕施工区間に対し計測区間は、施工区間を包括し連続性を考慮して、表-1 に示すように上下線の総延長 6,600m とした。

計測は、計測区間の始点から終点を上り線側車線から計測し、折り返して下り線側車線を計測するものとした。FWD 車両を先頭に、約 30m の計測装置を牽引し、これに追従して牽引式電気探査を人力で牽引して計測する。この約 50m 間を、随時移動しながら片側交通規制した。FWD 試験は、10m 毎に静止して試験（約 1 分）を繰返し実施するので、測線の移動速度は時間当たり約 500m であった。

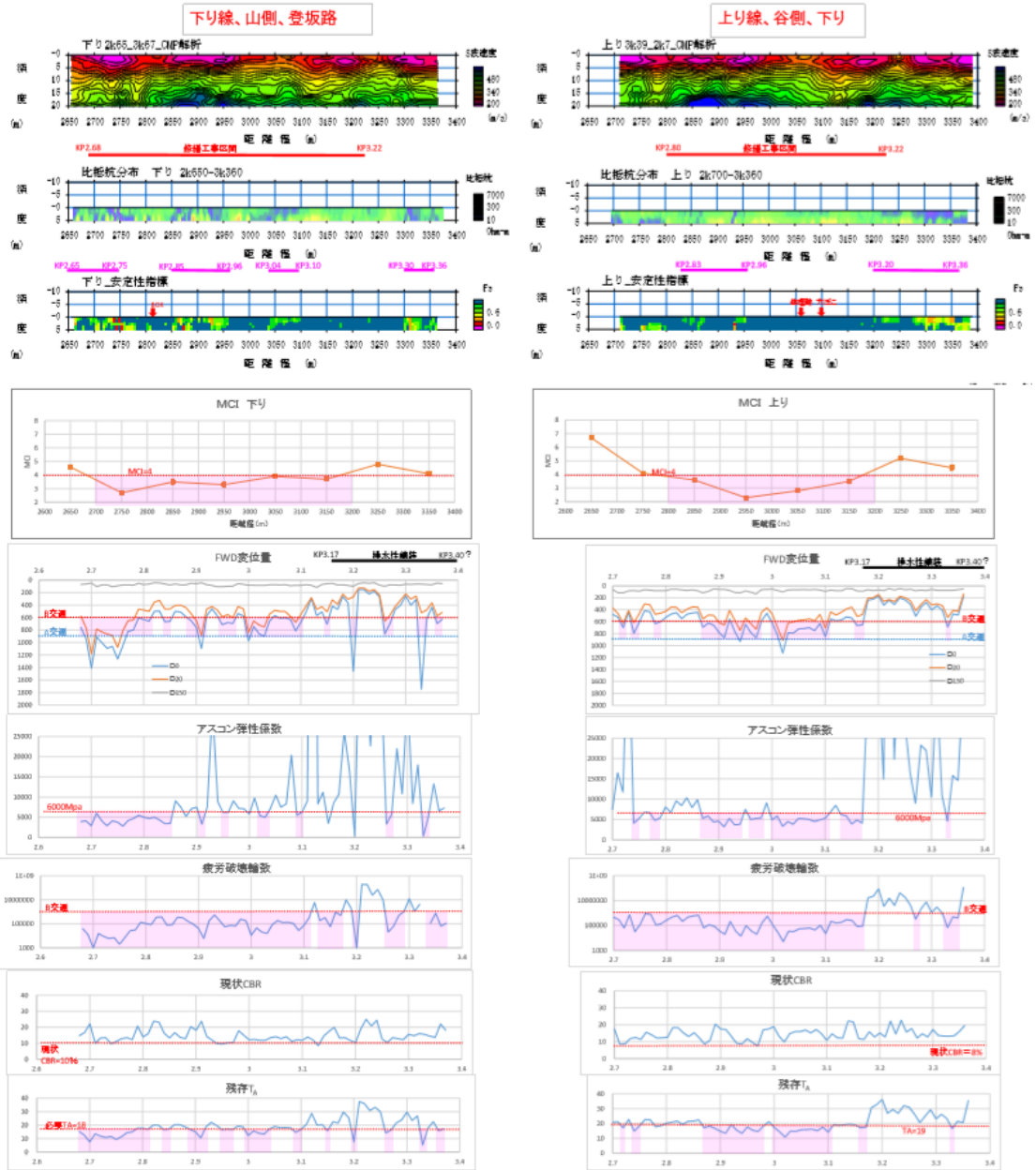
表-1 施工区間とハイブリッド点検区間（上下線で延長は下表の 2 倍）

工事箇所	施工計画			計測計画		
	キロ程(km)	区間長(m)	施工延長(m)	距離程(km)	計測延長(m)	
補修-21	2.68	3.10	420	2.50	3.50	1000
補修-22	3.10	3.22	120			
補修-22	4.85	5.00	150	4.80	5.30	500
補修-23	7.68	8.00	320	7.50	9.30	1800
補修-24	8.00	8.47	470			
補修-25	8.50	8.80	300			
補修-26	9.10	9.26	160			
	9.65	9.80	150			
	172.20	172.32	122			
			2212			3300



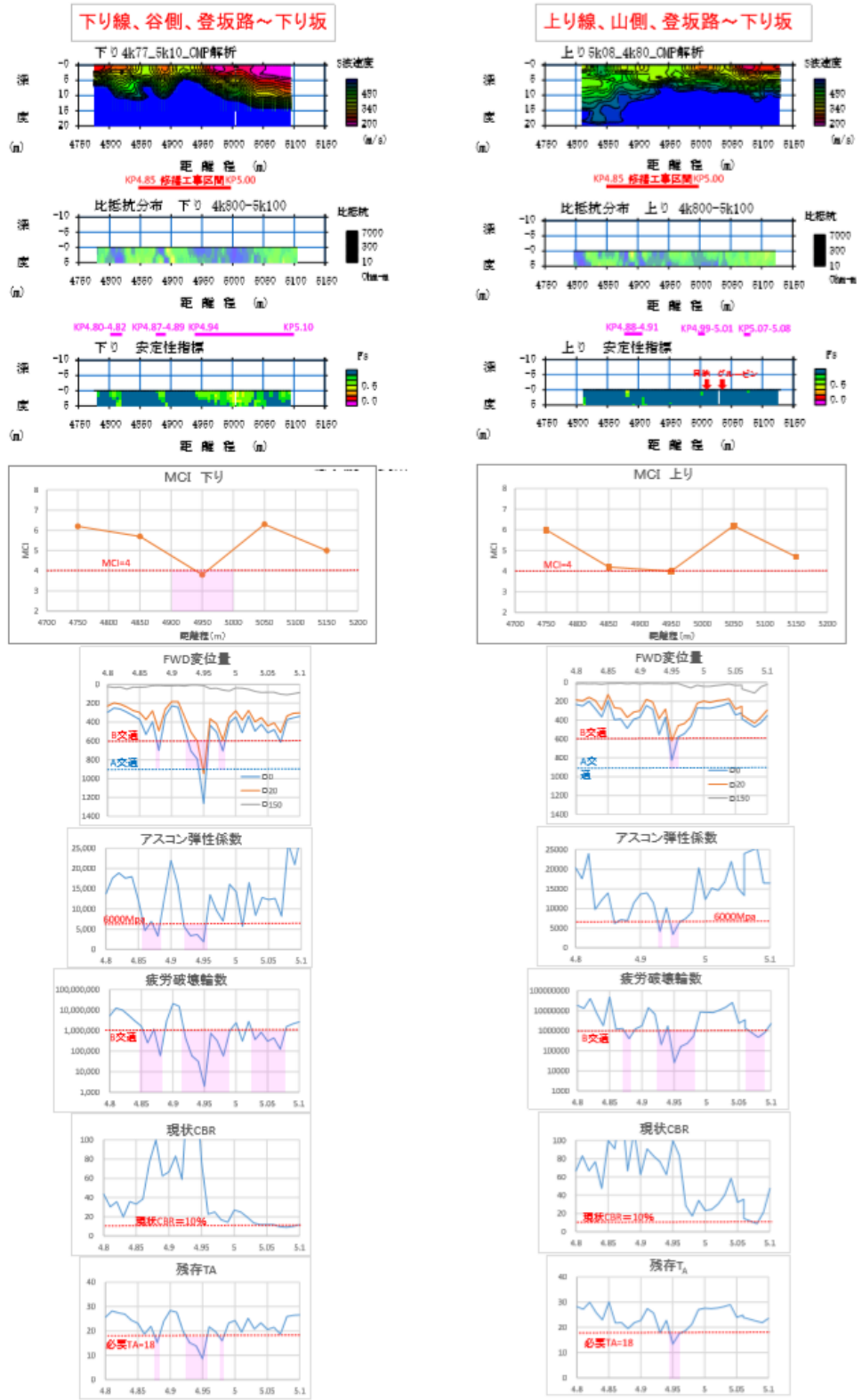
写真-2 ハイブリッド点検の様子（右：FWD 試験車両と計測台車 左：牽引式電気検層）

計測結果を図-6～図-9 に示す。図には、上よりハイブリッド計測で求めた測線に沿った S 波速度断面図、修繕工事施工予定区間、ハイブリッド計測で求めた比抵抗断面図、安定性指標 F_s が 1 を下回り抜本的修繕が望まれる区間、S 波速度と比抵抗から判定される安定性指標断面図、事前の路面性状調査による MCI、FWD 試験における変位量（補正たわみ量）、FWD 試験から評価されるアスコン弾性係数、同残存疲労破壊輪数、同現状 CBR および同残存 TA を示す。なお、MCI、FWD 変位量、アスコン弾性係数、疲労破壊輪数においては、土木学会等で設計交通量（B 交通）に応じて要求される性能を下回る区間を赤色でハッチング表示した。また、現状 CBR と残存 TA には、それぞれの区間の現状 CBR の低減値とその値から修正設計における必要等値換算厚（必要 TA）を表示し、必要 TA を下回る区間を赤色でハッチング表示した。



福岡坂下線KP2.70~3.36

図-6 ハイブリッド点検による評価図（福岡坂下線 KP2.70~3.36 区間上下線）



福岡坂下線KP4.80～5.10

図-7 ハイブリッド点検による評価図（福岡坂下線 KP4.80～5.10 区間上下線）

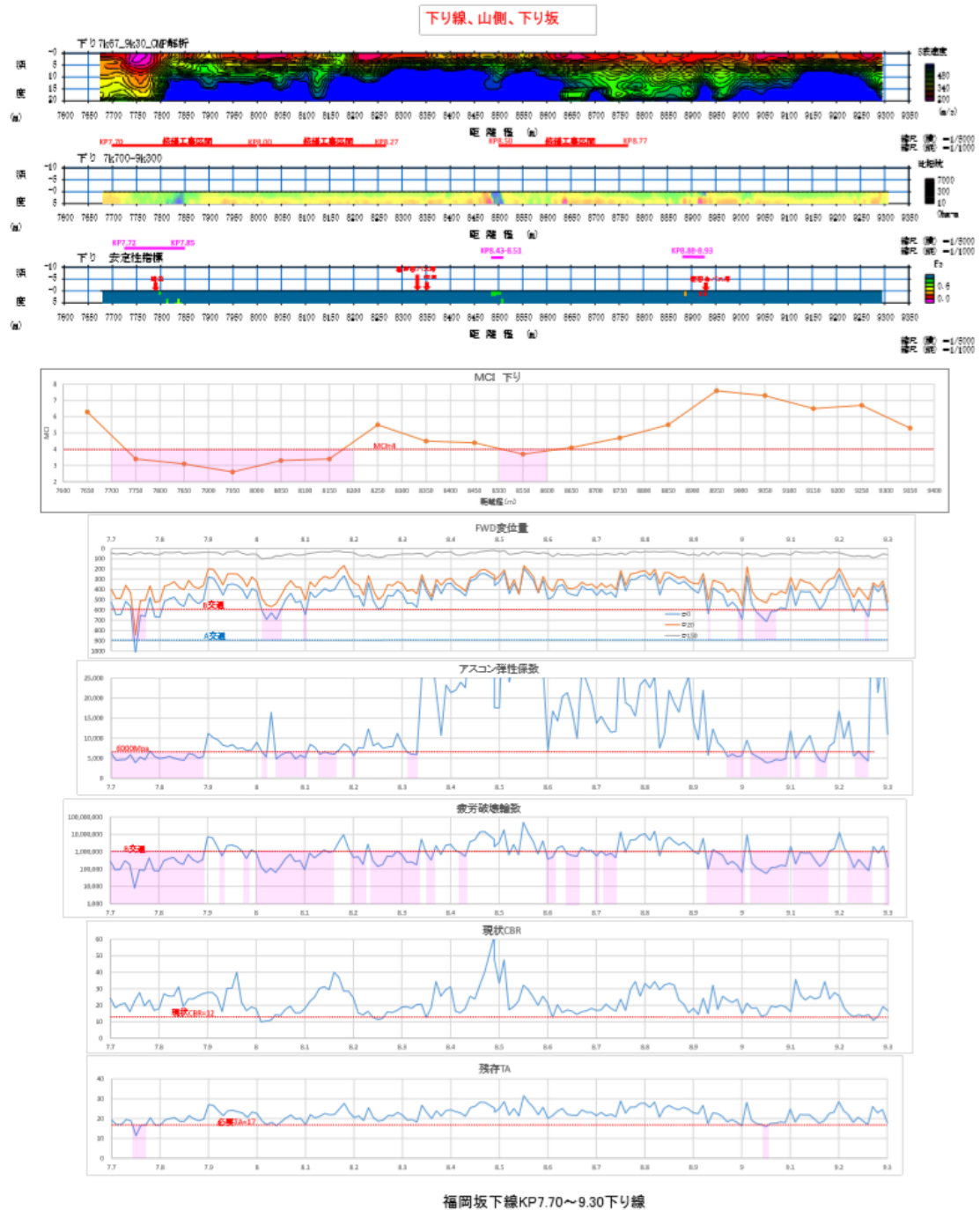


図-8 ハイブリッド点検による評価図（福岡坂下線 KP7.70～9.30 区間下り線）

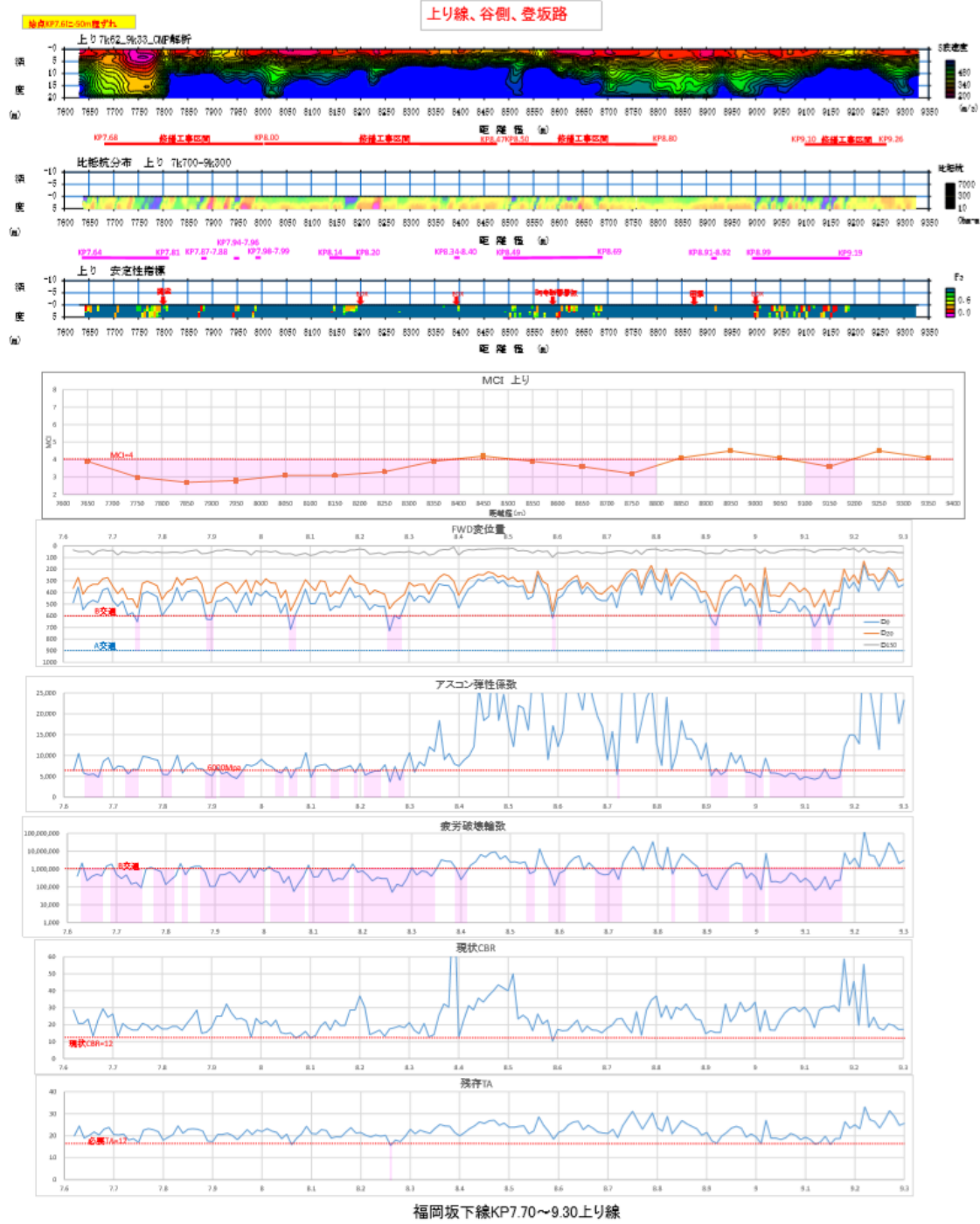


図-9 ハイブリッド点検による評価図（福岡坂下線 KP7.70～9.30 区間上り線）

ハイブリッド点検の結果、舗装評価は現状 CBR の低減値が 10% の KP2.70～3.36, KP4.80～5.10 区間と、同値が 12% の KP7.70～9.30 区間の 2 つに大別され、後者はほぼ必要 TA を満足するが、前者は必要 TA を大きく下回ることがわかる。また、アスコン弾性係数や残存破壊輪数は、いずれの区間においても要求性能を下回ることがわかる。

支持地盤の評価は、KP2.70～3.36 区間では S 波速度が低い黒ボクや崩積土の分布が予想され、比抵抗も低く路盤への地下水位の浸入が懸念されることから抜本的修繕が望まれる。また、KP4.80～5.10 区間では、峠地形の切土地盤であることから S 波速度は比較的高い値を示すものの、比抵抗が局所的に低く路盤への地下水の浸入が強く疑われることから、抜本的修繕もしくは排水対策の必要性が高い。一方、KP7.70～9.30 区間は川沿いの山裾に当たり、S 波速度断面に見られるように崩積土の厚さに緩やかな変化がみられるものの全体的に比抵抗が高く、優勢な地盤上に建設されていると判断される。S 波速度が比較的低い部分でも比抵抗が高く、安定性指標が連続して低下する部分は少ないが、川沿いで地盤内の細粒分が拔出し空隙の発生などが懸念される。これらの状況を勘案して舗装修繕設計に反映することが望まれた。

b 点検結果に基づいた道路修繕最適化

1. 福岡坂下線

ハイブリッド点検の結果により、路盤への水の浸入と路盤材料の劣化を抑制するための路盤の修繕方法を提案した。

ハイブリッド点検による舗装評価に基づいて、これまで予定していた上層路盤を再生C AE路盤（等値換算係数 $a=0.65$ ）に打換える修繕計画を再検討し、より等値換算係数の高い瀝青安定処理（ $a=0.80$ ）に変更した。これにより、舗装性能の向上のみならず、施工期間ならびに経済的に見ても有効な修繕工事となった。

また、ハイブリッド点検で抜本的修繕が必要とされたKP2.70～3.36において、舗装の強化対策としてジオグリッドを瀝青安定処理層の下面ならびに中間に敷設する工法を提案（図-10）し、試験的にKP3.00～3.09の約90m区間に設置した（図-11）。当該区間では、当初比抵抗の測定結果から路盤内への地下水の浸透が懸念されたが、路床土が粘性土のクロボクであることが確認されたため、浸透対策のための排水溝の設置は中止した。ただし、長期的に路盤内への地下水の浸透の有無を確認するために、KP3.0付近にジオグリッド水分センサならびに水位計を敷設して、路面の性状変化と併せてモニタリングするものとした（図-12）。

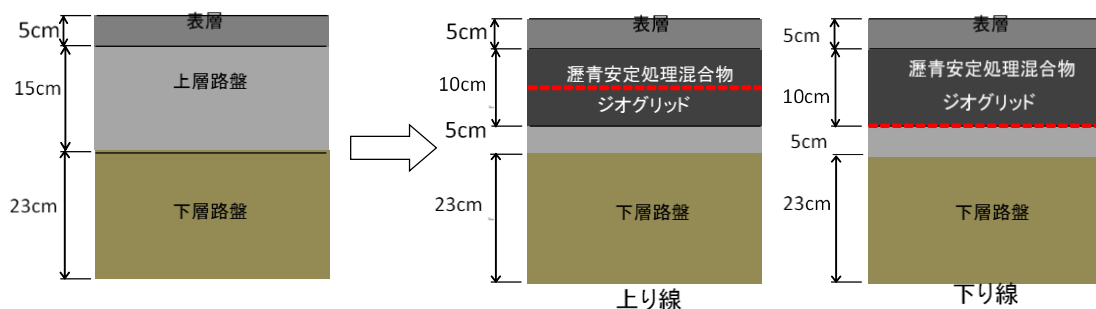


図-10 ジオグリッドによる補強対策の提案

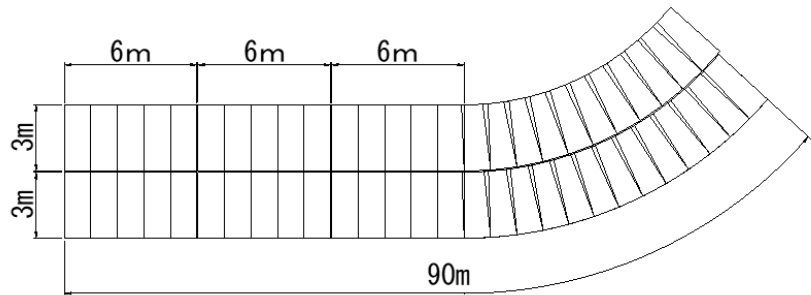


図-11 ジオグリッドの敷設範囲 (KP3.00~3.09)

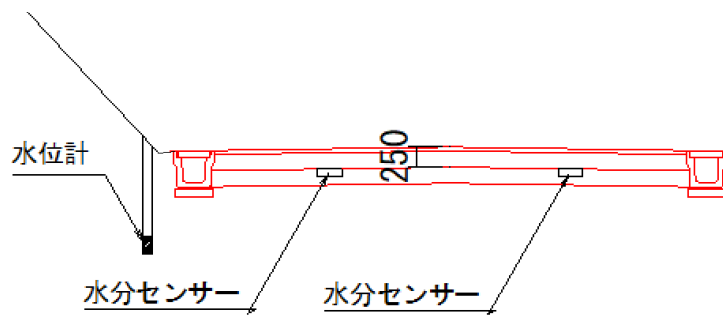


図-12 ジオグリッド水分センサと水位計の設置 (KP3.00)

さらに、ハイブリッド点検で抜本的修繕が必要とされたKP4.80~5.10区間には、路盤内への地下水の浸入防止を目的とした暗渠排水溝を山側の路肩内に設置した。ここでも、長期的に路盤内への地下水の浸入の有無を確認するために、ジオグリッド水分センサならびに水位計を敷設して、路面の性状変化と併せてモニタリングするものとした (図-13)。

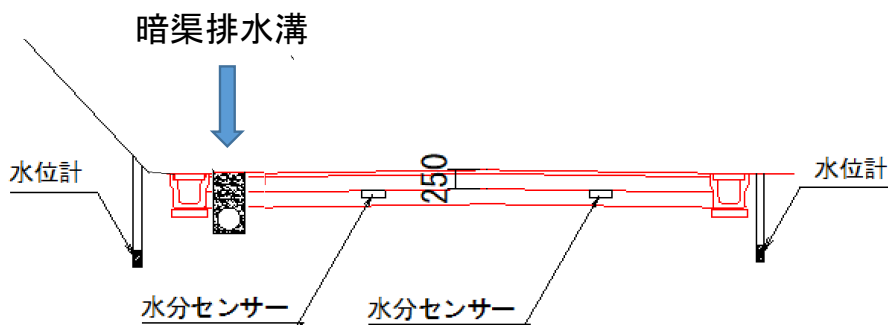


図-13 暗渠排水溝ならびにジオグリッド水分センサと水位計の設置 (KP4.94)

写真-3 には、修繕施工のために路盤を切削した際の路面の様子を示す。切削後の路面には、これまで繰返された補修のため瀝青安定処理層が残存しており、その亀裂沿いに地下水が浸入する様子が確認された。



写真-3 切削後の路面状況 (KP4.9 付近、浸透水の様子)

2. 粒度調整材料の長期繰返し三軸圧縮試験

これまでの点検において、舗装の劣化要因の一つに、路盤内への地下水の浸入が挙げられる。管理されて構築された路盤に水が浸入することで、どのように材料特性が変化するかを確認するために、長期繰返し三軸圧縮試験を実施した。

路盤材料として、粒度調整砕石 M-30 を用いた。中型の繰返し三軸圧縮試験器を使用することから、供試体径が 10cm のため、19mm ふるいを通過させ最大粒径を調整した。突き固めによる締固め試験ならびに CBR 試験により、締固め度 95% ($\rho_{dmax} \times 95\% = 2.163\text{g/cm}^3$, 修正 CBR(95) = 97.3%) で試料を作成し、一方は不飽和条件 (含水比 3%) もう一方は飽和条件で、以下の繰返し載荷を実施した。

背圧 飽和試料 200KPa、不飽和試料 0KPa
繰返し応力比 0.2
繰返し回数 10,000 回
載荷条件 1Hz

それぞれの試料の繰返し載荷試験中の軸変位量を図-14 に示す。不飽和試料では軸変位に目立った変化は見られないが、飽和試料では徐々に変位振幅が増大する傾向が確認できる。また、図-15 には飽和試料の繰返し載荷試験中の間隙水圧挙動を示す。実際に比べて小さな繰返し応力比であるにもかかわらず、間隙水圧は徐々に増大することが確認できる。

繰返し載荷終了後、それぞれの供試体を圧密非排水三軸圧縮試験に供した。その結果、圧縮強

さは、不飽和試料 536.18 kN/m^2 に対して、飽和試料 407.49 kN/m^2 と大きな違い（24%の減少）が確認された。

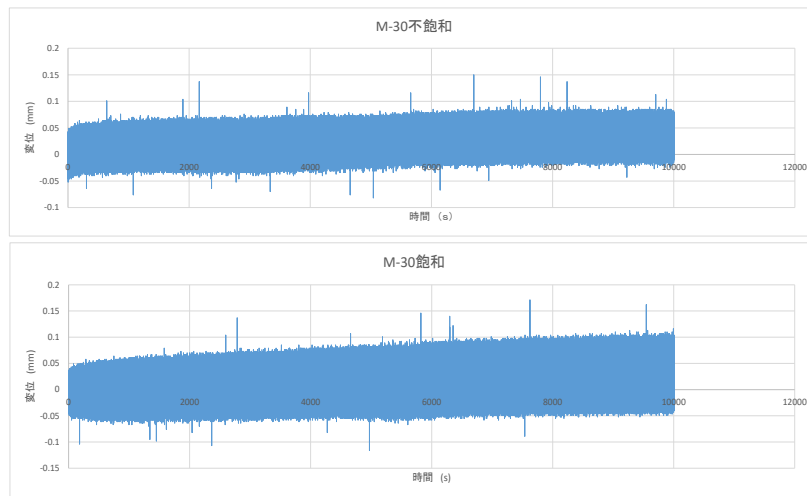


図-14 路盤材料の繰返し圧縮試験における軸変位量（上：不飽和試料，下：飽和試料）

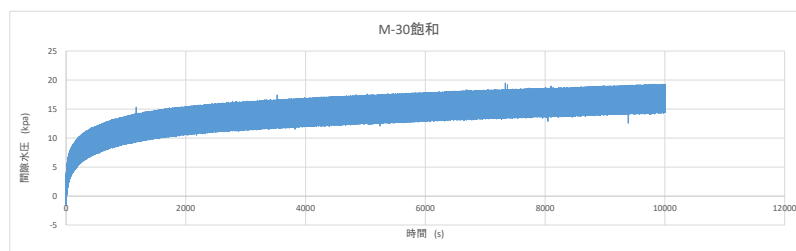


図-15 路盤材料の繰返し圧縮試験における間隙水圧（飽和試料）

このように、路盤材料に地下水が浸入することで、路盤の支持力が大きく低下することが確認できた。

② 舗装と土工の特性に基づいた抜本的修繕工法の開発

a 提案する修繕工法に用いる構造体の性能確認試験

1. ジオグリッドと瀝青安定処理混合物の複合構造体に対する性能確認試験

(1) 試験の概要

平成 30 年度に、ジオグリッドと瀝青安定処理混合物を一体化させた複合構造体は、曲げ荷重の作用に対する靱性が大きく向上することを確認された。この複合構造体に対して、繰返し曲げ荷重を与える性能確認試験を行った。試験では、アスファルト混合物の耐流動性を評価するホイールトラッキング試験機を用いて動的な繰返し曲げ試験を行った。供試体の寸法は縦 300mm × 横 300mm × 厚さ 50mm で、繰返し曲げ荷重が作用するよう供試体を設置する台座には、写真-4 に示すように、支間長が 200mm となる支点を設置した。繰返し曲げ試験の条件を表-2 に示す。試験は、通常のホイールトラッキング試験と同様に、 60°C の温度下で供試体上に試験輪（荷重 70kg ）

を走行させる条件で行った。供試体の作成状況を写真-5 に示す。ジオグリッドには、アラミド繊維を芯材としポリエチレンで被覆した構造である。ジオグリッドは供試体の中間または下面に埋設して、型枠にアスファルト混合物を2層に分けて突固めて充填した後、転圧面が円弧上のローラーコンパクターで締固めて供試体を作成した。また、本試験は、アスファルト混合物、ジオグリッドを構成する樹脂、目合い、ジオグリッドの敷設位置などを変えて行った。



(a) 台座に設置した支点（支間長 200mm）



(b) 供試体の設置状況

写真-4 繰返し曲げ試験の状況

表-2 試験条件

支間長	200mm
载荷重	70kg
車輪（ソリッドタイヤ）	直径 200mm、幅 50mm
走行距離	230mm
走行速度	42 回/min
温度	60℃



(a) 混合物の充填（1層目）



(b) 混合物の突固め



(c) ジオグリッドの設置



(d) 混合物の充填（2層目）



(e) ローラーコンパクタによる締固め

(f) 供試体の完成

写真-5 供試体の作成状況

(2) 試験 1

再生骨材（アスファルト量 2%）と碎石、砂の骨材を 1：1 の割合で混合し、アスファルトを 2% 添加した瀝青安定処理混合物と、表-3 および図-16 に示す 2 種類のジオグリッドを用いて繰返し曲げ試験を行った。繰返し曲げ試験における経過時間と鉛直変位の関係を図-17 に示す。無補強の供試体は 18～24 回の走行（経過時間：25～34 秒）で破壊したのに対し、ジオグリッドで補強した供試体は繰返し荷重の作用に対する耐久性が大きく向上した。しかし、試験結果のばらつきが大きく、2 種類のジオグリッドの優劣を評価することが難しい結果となった。

表-3 繰返し試験に用いたジオグリッド

タイプ	A	B
芯材	アラミド繊維	アラミド繊維
樹脂	高密度ポリエチレン	低密度ポリエチレン
目合い	縦 28mm×横 28mm	縦 55mm×横 28mm

引張強度	80kN/m	150kN/m
------	--------	---------

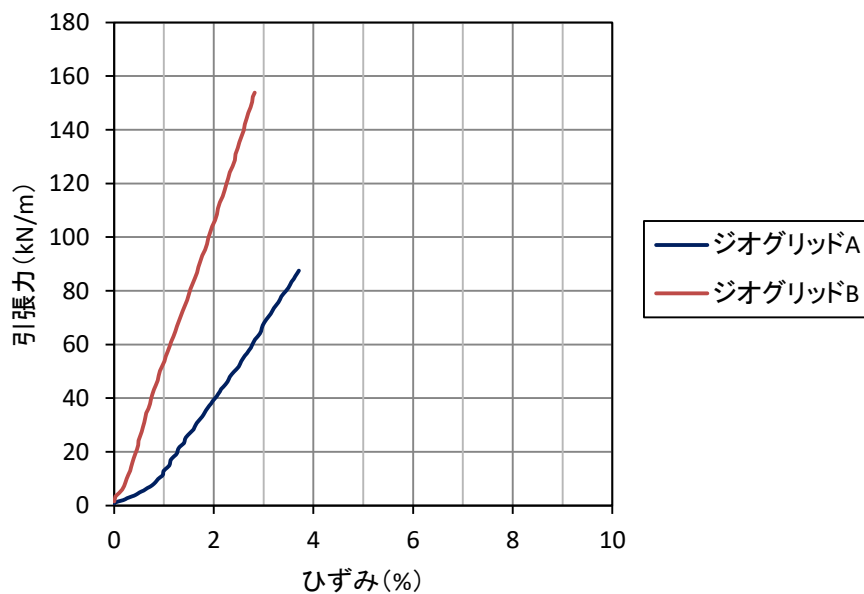


図-16 ジオグリッドのひずみと引張力の関係

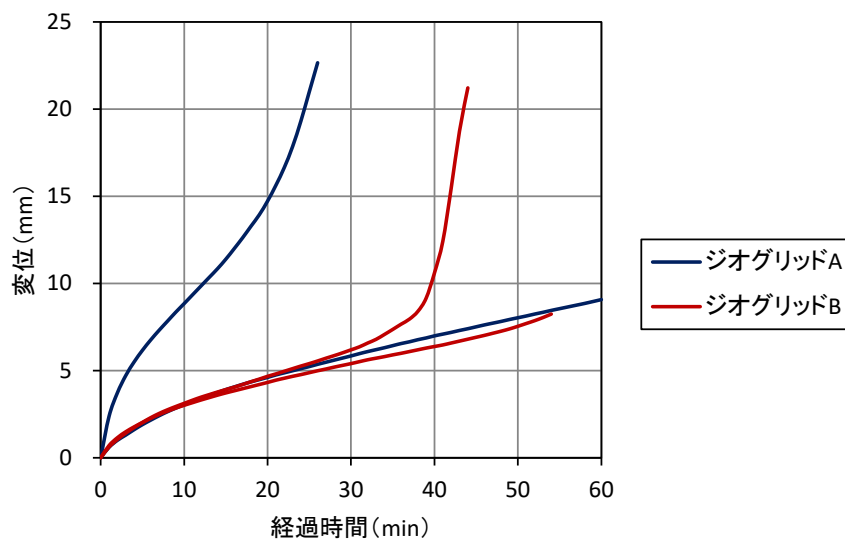


図-17 繰返し曲げ試験の結果

(3) 試験 2

再生骨材（アスファルト量 2%）と碎石、砂の骨材を 1:1 の割合で混合し、アスファルトを 2% 添加した瀝青安定処理混合物と、表-4 に示す 2 種類のジオグリッドを用いて繰返し曲げ試験を行った。ジオグリッド C は、破断ひずみの異なる 2 種類の繊維（アラミド繊維とポリエステル繊維）で構成される。ジオグリッド C の引張変位と引張力の関係を図-18 に示すように、アラミド繊維の破断後にポリエステル繊維の引張力が発揮され、ジオグリッド A に比べて靱性を向上させた。また、本試験では、ジオグリッドを瀝青安定処理混合物の中間と下面に埋設した供試体に対して繰返し曲げ試験を行った。繰返し曲げ試験における経過時間と鉛直変位の関係を図-19 に示す。

試験 1 と同様にばらつきはあるが、ジオグリッド C の方がジオグリッド A に比べて、破壊に至る経過時間が長い傾向が得られている。

表-4 繰返し試験に用いたジオグリッド

タイプ	A	C
芯材	アラミド繊維	アラミド繊維＋ ポリエステル繊維
樹脂	低密度ポリエチレン	低密度ポリエチレン
目合い	縦 28mm×横 28mm	縦 28mm×横 28mm
引張強度	80kN/m	48kN/m

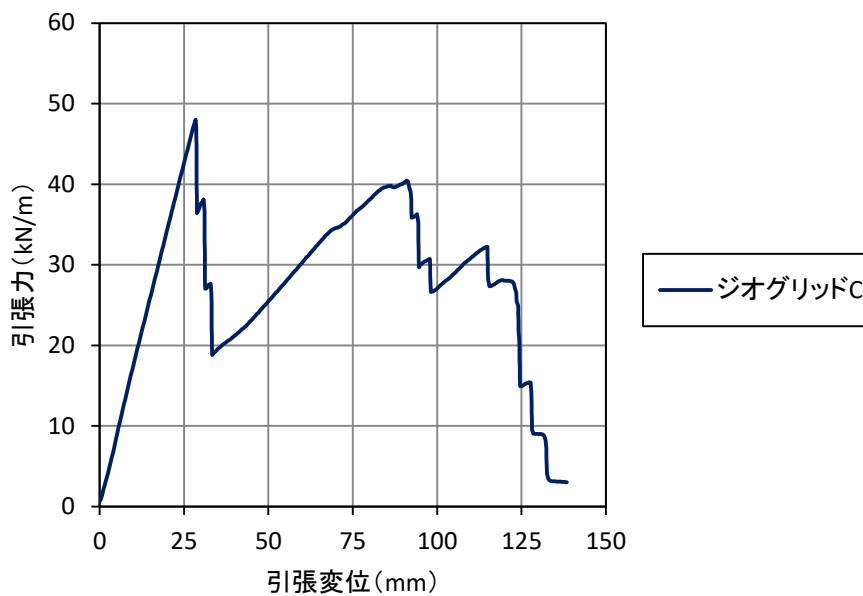
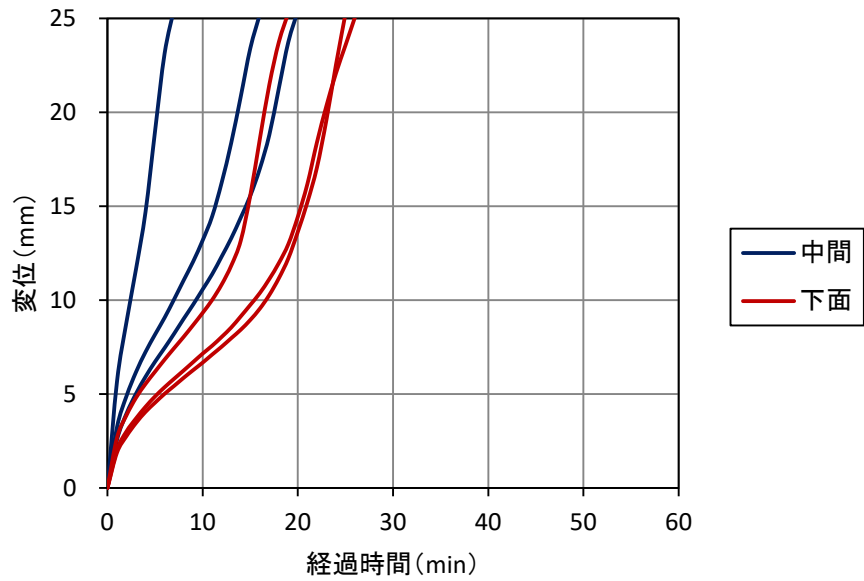
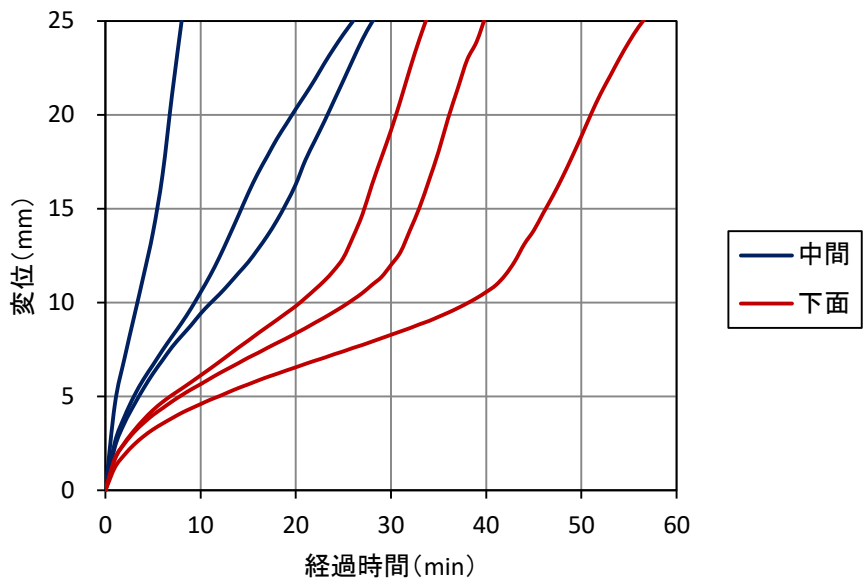


図-18 ジオグリッド C の引張変位と引張力の関係



(a) ジオグリッド A



(b) ジオグリッド C

図-19 繰返し曲げ試験の結果

(4) 試験 3

試験 1、試験 2 では、繰返し曲げ試験の結果に大きなばらつきが生じた。これは、試験に用いた再生骨材の影響であると仮定して、通常の骨材にアスファルトを添加した密粒度アスファルト（アスファルト量 5.5%）を用いて試験を行った。また、ジオグリッドには表-3 に示した 2 種類のジオグリッドを用いた。繰返し曲げ試験の結果を表-5 に示す。密粒度アスファルトを用いた場合、無補強の供試体では 70kg の車輪を載荷した時点で破壊した。試験 3 では、アスファルト量が試験 1 と試験 2 で用いた瀝青安定処理混合物の 4% に比べて多く、供試体が柔らかい状態であ

ったためと考えられる。また、ジオグリッドで補強した供試体も試験 1 に比べて短時間で破壊したが、目合いの大きいジオグリッド B の方がジオグリッド A に比べて走行回数が多い。これは、ジオグリッドの目合いが大きいと、アスファルト混合物の骨材がジオグリッドの目合いに入り込みやすくなり、アスファルト混合物の一体性が高まるためと考えられる。

表-5 繰返し曲げ試験の結果

ジオグリッド	タイプ	A	B
	芯材	アラミド繊維	アラミド繊維
	樹脂	低密度ポリエチレン	低密度ポリエチレン
	目合い	縦 28mm×横 28mm	縦 55mm×横 28mm
走行回数 (回)	1 回目	14	30
	2 回目	20	28
	平均	17	29



写真-6 試験後の供試体

2. ジオセルの締固め試験

(1) 締固め試験の概要

平成 30 年に岐阜県管理道路（安八海津線）で行った道路舗装の修繕に関する試験施工では、

2次元表面波探査によりジオセルを設置した路盤のせん断波速度が相対的に低く、ジオセルの中詰め材の締固め度が低いことが示唆された。この箇所では、試験施工から約6ヵ月経過後に表層にひび割れが生じて、路盤の補修が行われている。このような背景のもと、ジオセルを用いた路盤補強の適用性を確認するために、中詰め材（粒度調整碎石）を充填したジオセルに対する実物大の締固め試験を行った。

締固め試験に用いたジオセルの寸法形状を表-6に、中詰め材の物理特性を表-7に示す。試験では、ジオセルの高さは10cmに統一し、ジオセルの寸法を3種類に変えて中詰め材の締固め度を確認した。また、中詰め材には粒度調整碎石（M-30とM-40の混合碎石）を用いた。M-30とM-40の締固め特性や締固め後のCBRは同程度である。また、施工時の碎石の含水比は4.69%であった。

表-6 ジオセルの種類

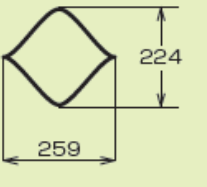
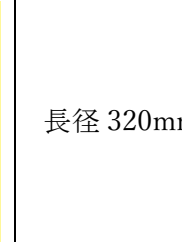
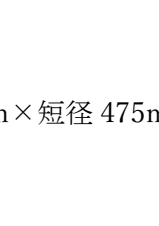
タイプ	セルの形状	寸法
A		長径 259mm × 短径 224mm
B		長径 320mm × 短径 287mm
C		長径 508mm × 短径 475mm

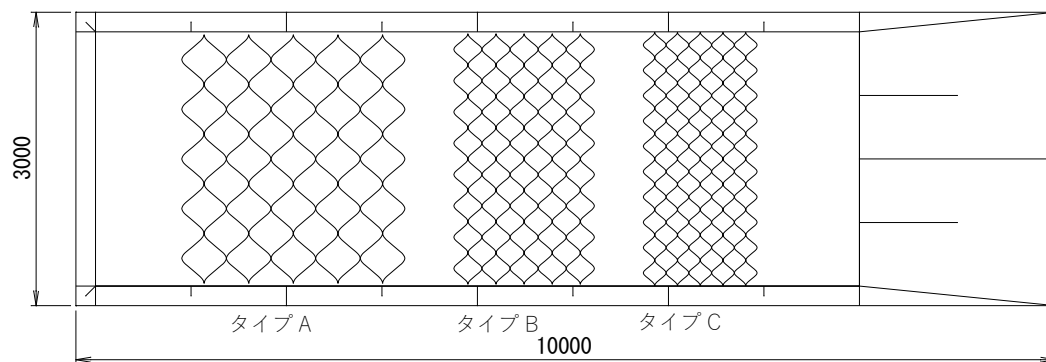
表-7 砕石の物理特性

砕石の種類		M-30	M-40
ふるい分け試験 (通過百分率%)	呼び寸法 (mm)	—	—
	100	100	100
	80	100	100
	60	100	100
	50	100	100
	40	100	98
	30	96	89
	25	89	81
	20	78	74
	15	69	68
	13	63	62
	10	55	57
	5	41	44
	2.5	30	35
	1.2	24	27
	0.6	18	21
	0.4	14	18
	0.3	11	15
	0.15	7	10
0.075	3	5	
締固め試験	最大乾燥密度 (g/cm ³)	2.137	2.139
	最適含水比 (%)	5.90	5.79
CBR 試験	93%修正 CBR (%)	83.3	85.4
	95%修正 CBR (%)	98.7	103.7

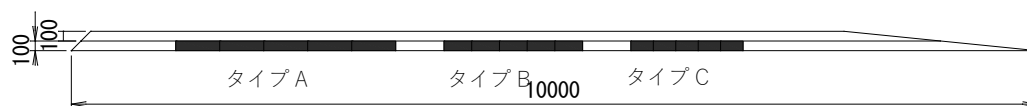
(2) 締固め試験の状況

締固め試験における平面図と代表断面図を図-20 に示す。ジオセルの底面には敷鉄板をして不陸のない状態にし、3種類のジオセルを約50cmの間隔で配置して、砕石を充填して4t振動ローラーで締固めた後に、ジオセルの中の砕石の密度を測定した。

ジオセルの締固め試験の状況を写真-8に示す。ジオセルの高さは10cmであるが、締固め後の仕上り層厚が20cmとなるように砕石をまき出し、4t級振動ローラーで締固めた(転圧回数:7往復)。砕石の締固め後は表層の10cmを切削したところ、中詰め材は緩い状態であった。このため、写真-7に示すように、ジオセル上を再度振動ローラーで直接締固め(転圧回数:4往復)、ジオセルの内部とジオセルが設置されていない箇所で水置換による現場密度試験を行った。



(a) 平面図



(b) 断面図

図-20 試験盛土平面図



(a) ジオセルの展開



(b) 碎石の投入



(c) 碎石のまき出し後の状況



(d) 締固め



(e) 表層 10cm の切削



(f) 表層切削後の中詰め材の状態

写真-7 締固め試験の状況



(a) 中詰め材の再転圧



(b) 締固め後の中詰め材の状況(タイプ A)



(c) 締固め後の中詰め材の状況(タイプ B)



(d) 締固め後の中詰め材の状況(タイプ C)



(e) 中詰め材の採取



(f) 水置換

写真-8 中詰め材の再転圧と水置換法による現場密度試験の状況

(3) 締固め試験の結果

締固め試験後の現場密度試験で得られた乾燥密度の計測結果を表-8 に示す。ジオセルの中詰め材の乾燥密度は $1.26\sim 1.37\text{g/cm}^3$ と、ジオセルを設置していない無補強の箇所に比べて 8~15% 低い。試験に用いた粒度調整碎石の修正 CBR 試験の結果を図-21 に示す。上層路盤で要求される CBR が 80% 以上の状態に相当する乾燥密度は 1.975g/cm^3 以上であるが、ジオセルの中詰め材の乾燥密度はそれに比べて小さい。これは、ジオセルが中詰め材の締固めを阻害するためであり、ジオセルには上層路盤としての性能を有する締固め特性を得ることはできないことが確認された。

表-8 乾燥密度の計測結果

No.	乾燥密度 (g/cm^3)			
	無補強	タイプ A	タイプ B	タイプ C
1	1.53	0.99	1.59	1.35
2	1.40	1.47	1.08	1.15
3	1.50	1.33	1.44	1.35
平均	1.48	1.26	1.37	1.28

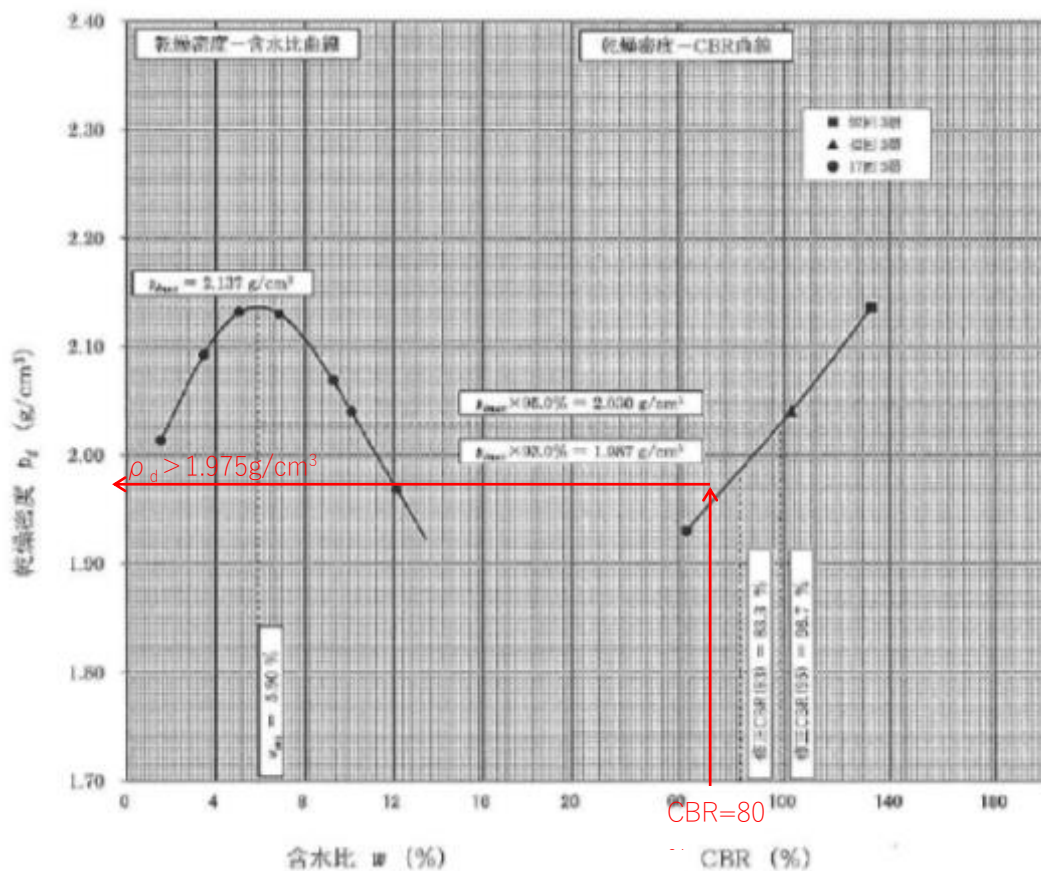


図-21 粒度調整砕石 (M-30) の修正 CBR 試験の結果

b 試験施工

今後重交通の著しい増加が見込まれる区間において、路盤への水の浸入と路盤材料の劣化を抑制するための路盤の予防的修繕の取り組みが予定されている。予防的保全効果を、自動化統合物理解探技術により明らかにした。

(1) 概要

本研究では、図-22 に示す岐阜県管理道 (福岡坂下線) の延長 90m の区間で、劣化した舗装の上層路盤をジオグリッドと瀝青安定処理混合物の複合構造体に置換える試験施工を行った。試験施工では、図-23 に示すように、層厚 15cm の上層路盤の上部 10cm を瀝青安定処理混合物に置換えて、上り線はジオグリッドを瀝青安定処理混合物の中間に、下り線はジオグリッドを瀝青安定処理混合物の下面に敷設した。ジオグリッドの敷設図を図-24 に示す。試験施工では、路面のわだちの発生の抑制を図るため、道路の横断方向にアラミド繊維が配列されるようにジオグリッドを配置し、曲線区間では隣り合うジオグリッドを重ねて敷設した。

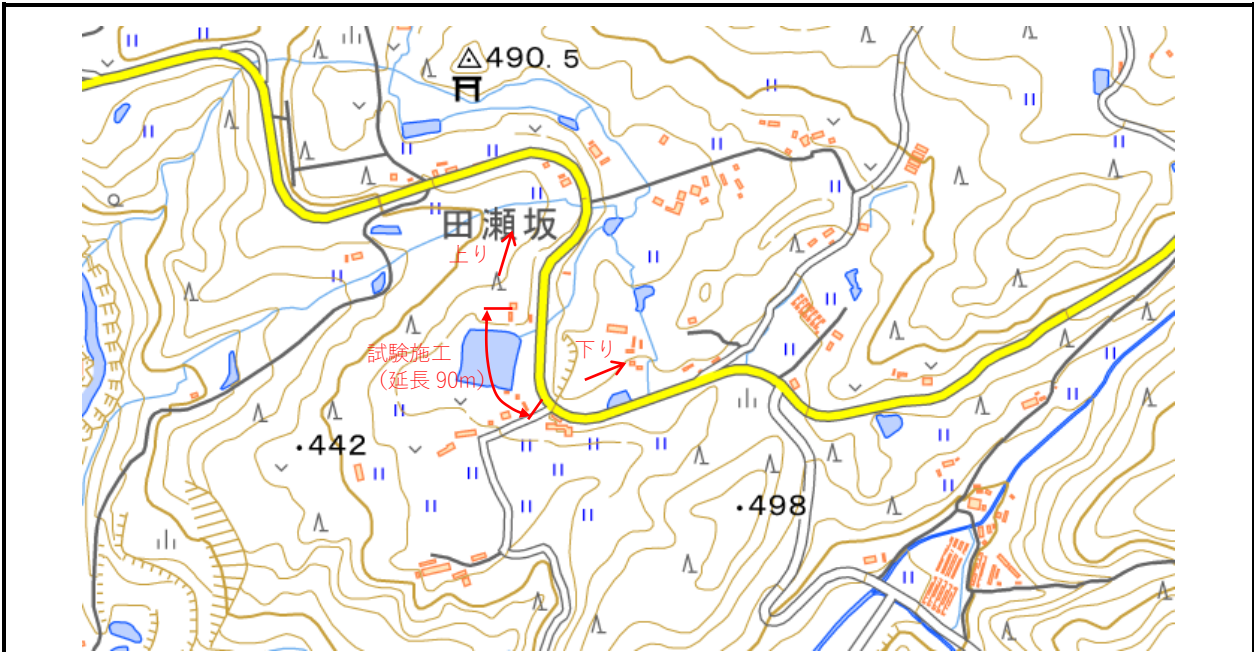
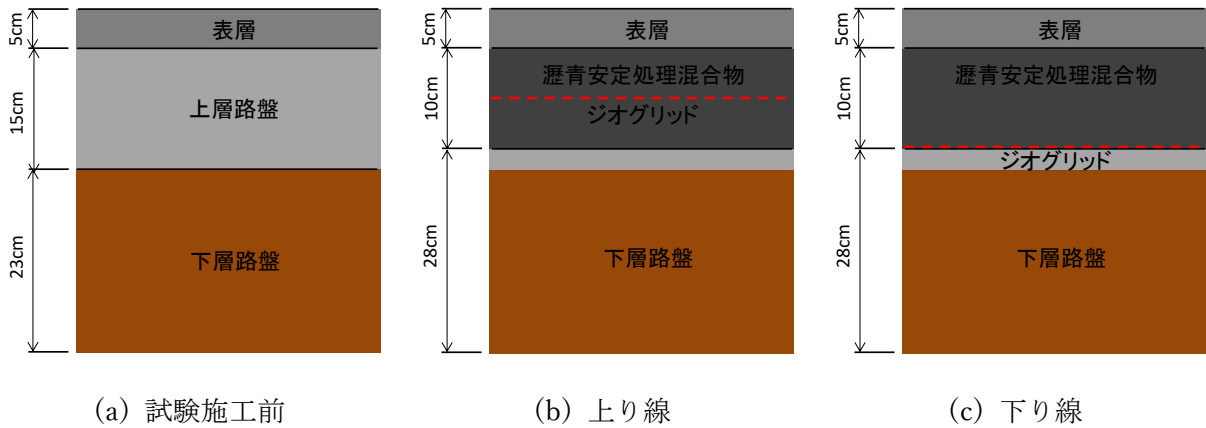


図-22 試験施工箇所（地理院地図より引用）



(a) 試験施工前

(b) 上り線

(c) 下り線

図-23 試験施工前後の舗装構成

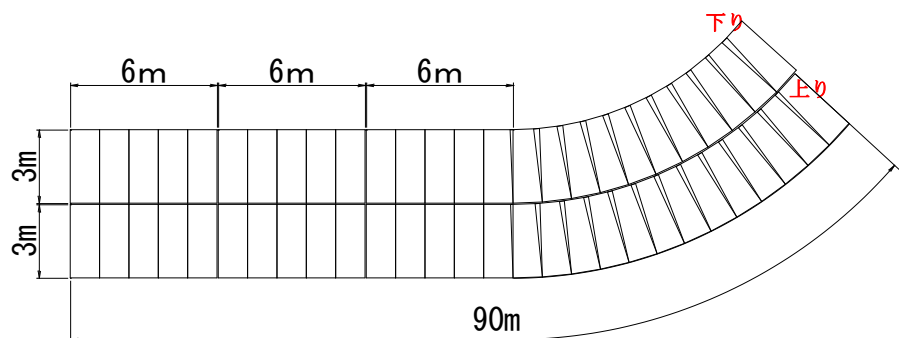


図-24 ジオグリッドの敷設図

(2) 下り線の施工状況

ジオグリッドを瀝青安定処理混合物の下面に設置した下り線の施工状況を写真-9～10に、施工手順と施工時の状況を以下に示す。

1) 路面を切削し、乳剤と砂を散布する (写真-9(a)、(b))。

2) ジオグリッドを敷設する。

直線区間では、ジオグリッド敷設の施工性の向上を図るため、幅 1.2m のジオグリッドをつき合わせて結束バンドで接続した状態のものを、曲線区間ではジオグリッドを重ねて敷設し、固定杭でジオグリッドを固定した (写真-9(d)～(f))。

3) アスファルトフィニッシャーで瀝青安定処理混合物をまき出す。

このとき、ジオグリッドをつき合わせて敷設した直線区間では、ジオグリッドのたわみがアスファルトフィニッシャーの進行方向に累積されていき、ジオグリッドが折り重なった状態で、瀝青安定処理混合物の中に埋設された状態になった。一方、ジオグリッドを重ねて敷設した曲線区間では、直線区間に比べてジオグリッドのたわみは小さく、たわみはジオグリッドの重ね部で吸収されている箇所もあった (写真-10(a)、(b))。

4) 瀝青安定処理混合物を振動ローラーとタイヤローラーで締固める (写真-10(c)、(d))。



(a) 舗装の切削



(b) 乳剤の散布



(c) 砂の散布



(d) ジオグリッドの敷設 (直線区間)



(e) ジオグリッドの敷設 (曲線区間)



(f) 固定杭によるジオグリッドの固定

写真-9 下り線の施工状況 (その1)



(a) 瀝青安定処理混合物のまき出し(1)
(ジオグリッドをつき合わせて設置した箇所)



(b) 瀝青安定処理混合物のまき出し(2)
(ジオグリッドを重ねて設置した箇所)



(c) 振動ローラーによる転圧



(d) タイヤローラーによる転圧



(e) 完成状況（直線区間）



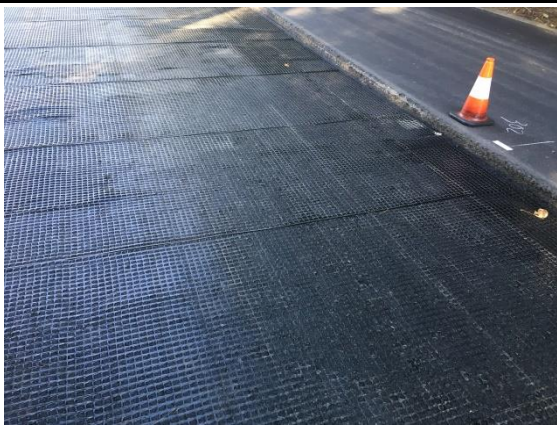
(f) 完成状況（曲線区間）

写真-10 下り線の施工状況（その2）

(3) 上り線の施工状況

ジオグリッドを瀝青安定処理混合物の中間に設置した上り線の施工状況を写真-11～12 に、施工手順と施工時の状況を以下に示す。

- 1) 路面を切削し、乳剤と砂を散布する。
- 2) 瀝青安定処理混合物を層厚 5cm でまき出す。
- 3) ジオグリッドを敷設し、振動ローラーとタイヤローラーで転圧する（写真-11(a)～(c)）。
先に行われた下り線の試験施工時には、ジオグリッドを固定杭で固定したが、瀝青安定処理混合物をまき出すときのジオグリッドのたわみによって固定杭が抜けたため、上り線では固定杭を使用していない。ジオグリッド敷設後に、振動ローラーとタイヤローラーでジオグリッド上を走行させると、ジオグリッドの横ストランドが伸びることにより、ジオグリッドをつき合わせた箇所でたわみが発生した（写真-11(d)）。このため、補修範囲の終点側では隣り合うジオグリッドの間に隙間を設けて敷設し直した。また、ジオグリッドの目合が縦 28mm×横 28mm であるため、瀝青安定処理混合物の骨材と十分にかみ合っていない状況が確認できた。
- 4) ジオグリッドの上に乳剤と砂を散布して、2層目の瀝青安定処理混合物を層厚 5cm でまき出し、振動ローラーとタイヤローラーで転圧する（写真-12(a)）。
転圧後、ジオグリッドのたわみが生じた箇所では、写真-12(b)～(d)に示すように、瀝青安定処理混合物の上面にひび割れが生じていた。



(a) ジオグリッドの敷設



(b) 振動ローラーによる転圧



(c) タイヤローラーによる転圧



(d) ジオグリッドのたわみ



(e) 乳剤の散布



(f) 瀝青安定処理混合物のまき出し

写真-11 上り線の施工状況 (その1)



(a) 振動ローラーによる転圧



(b) 上層路盤の上面に現れたひび割れ 1



(c) 上層路盤の上面に現れたひび割れ 2



(d) 上層路盤の上面に現れたひび割れ 3

写真-12 上り線の施工状況 (その2)

(4) 施工上の問題点と解決策

福岡坂下線の道路舗装の上層路盤を、ジオグリッドと瀝青安定処理混合物の複合構造体に置換える試験施工を行った結果、下記のような施工上の問題点が明らかになった。

- ジオグリッドをつき合わせて敷設すると、アスファルトフィニッシャーで瀝青安定処理混合物をまき出した時に、ジオグリッドのたわみが生じやすくなる。
- 瀝青安定処理混合物の中央にジオグリッドを敷設した場合に、ジオグリッド上を振動ローラーで転圧すると、ジオグリッドの横ストランドが伸びてたわみの原因となり、2層目の瀝青安定処理混合物と分離した状態になり、上層路盤の上面にひび割れが発生した。また、ジオグリッド上を振動ローラーが走行すると、鉄輪が瀝青安定処理混合物の熱を奪ってしまい、両者の十分な密着が期待できない。
- ジオグリッドの目合いが瀝青安定処理混合物の骨材に比べて小さいため両者の一体化が難しく、ジオグリッドが路盤の分離面になるおそれがある。

上記の問題点に対する解決策を以下に示す。

1) ジオグリッドの形状

ジオグリッドの目合いを大きくして、骨材とのかみ合わせを改善させる。

2) ジオグリッドの敷設

ジオグリッドはつき合わせて敷設せずに、横ストランドの伸びを考慮して隣り合うジオグリッドの間に隙間を設けて敷設する。

3) ジオグリッドと瀝青安定処理混合物の一体化

ジオグリッドを瀝青安定処理混合物の中間に敷設する場合、1層目の瀝青安定処理混合物の温度が極端に下がらないように、ジオグリッド上にはタイヤローラーを走行させて、ジオグリッドを瀝青安定処理混合物の一体化を図る。

(5) 予防的保全効果の検証

修繕工事後に、長寿命化対策としての抜本的修繕工事による効果を確認する目的でハイブリッド点検を再度実施した。点検の様子を写真-13 に示す。

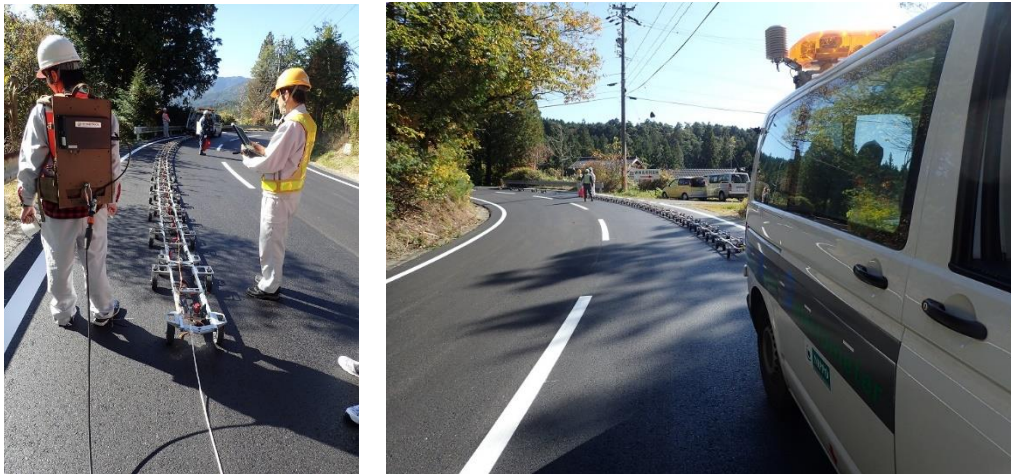


写真-13 修繕工事後に実施したハイブリッド点検の様子

図-25 ならびに図-26 には、それぞれ KP2.70～3.35 区間ならびに KP4.80～5.05 区間における修繕工事前後の FWD 試験による舗装評価の結果を比較する。いずれの区間においても、たわみ量の減少が確認され、残存 TA、アスコン弾性係数、残存破壊輪数に増加することが確認できた。

図-27 ならびに図-28 には、同様にそれぞれの区間における修繕工事前後の物理探査結果を比較し、変化率もしくは変化量を示す。S 波速度にはほとんど変化が確認されないが、表層部分の比抵抗に増加する傾向が確認できる。図-29 ならびに図-30 には安定性指標の値を修繕工事前後で比較したものを示すように、安定性指標においても表層部分に改善が確認できる。これらは、経年的な地下水位の変化ならびに暗渠排水溝による排水効果により比抵抗が増加したことが原因と考えられる。

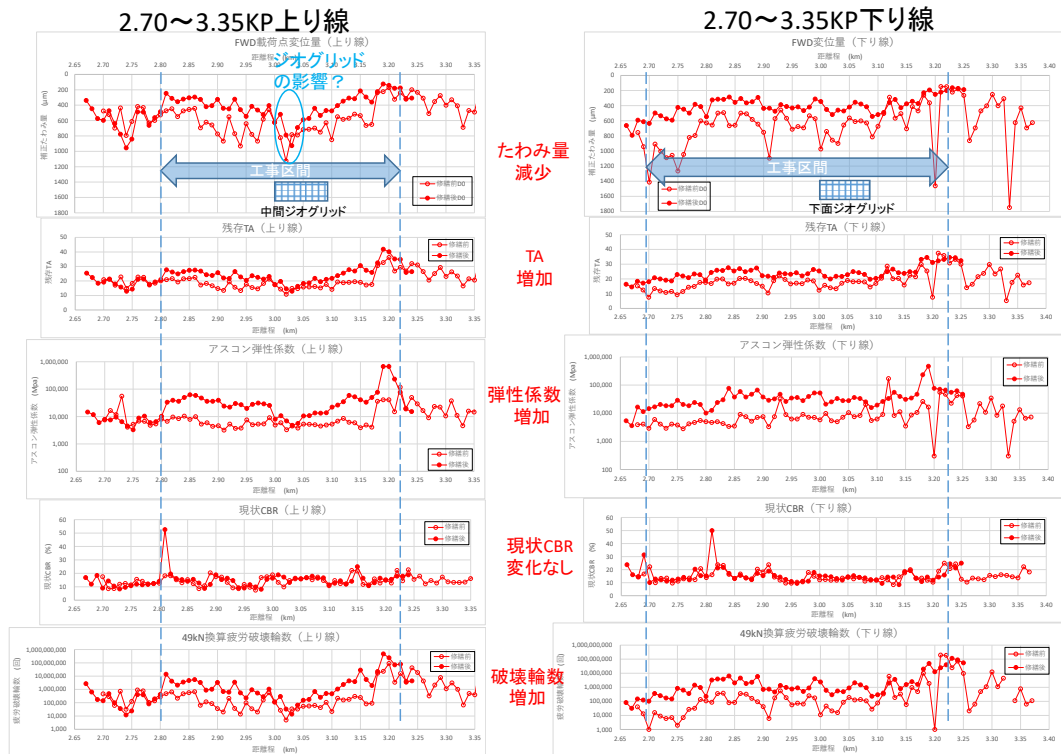


図-25 FWD試験による修繕工事前後の舗装評価（福岡坂下線 KP2.70~3.35）

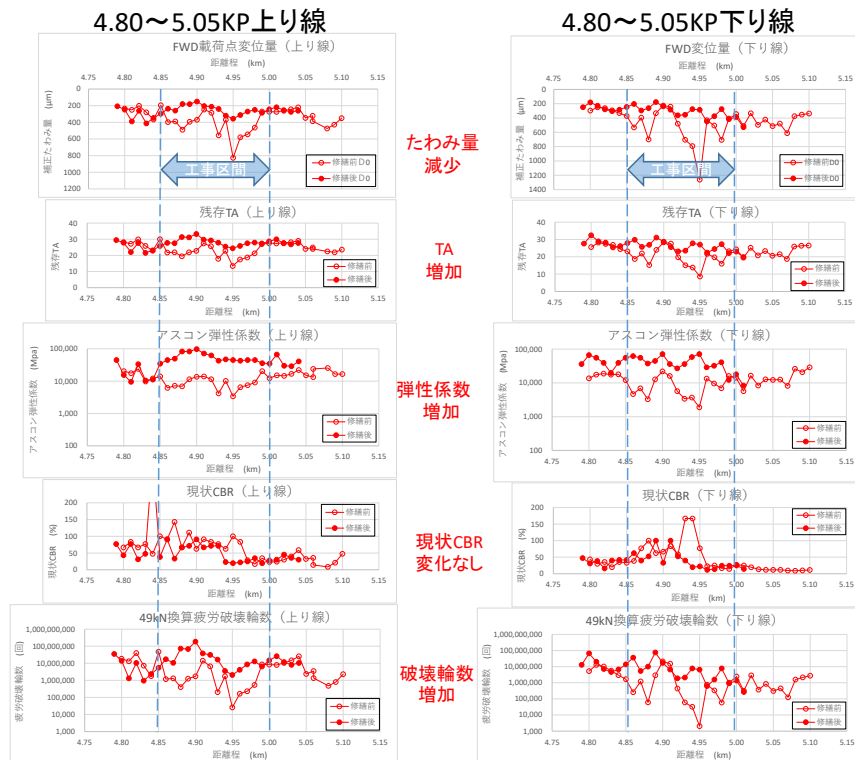


図-26 FWD試験による修繕工事前後の舗装評価（福岡坂下線 KP4.80~5.05）

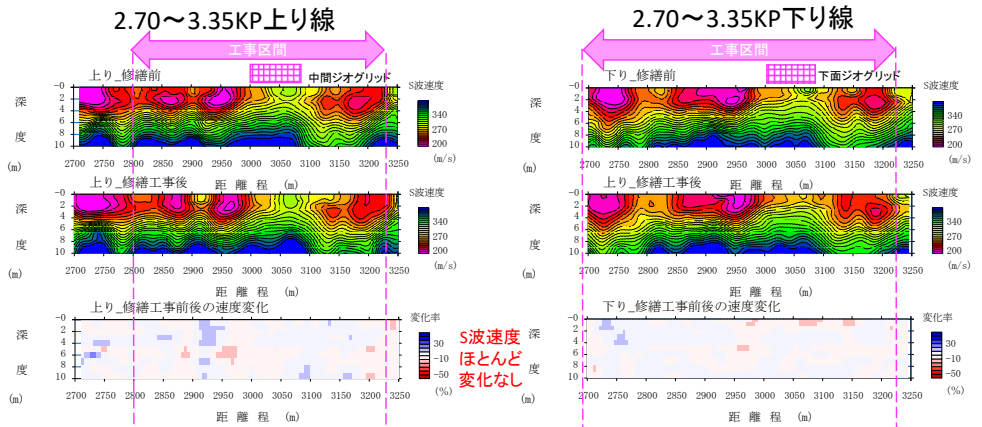


図-27 物理探査結果による修繕前後の支持地盤評価 (福岡上線 KP2.70~3.35)

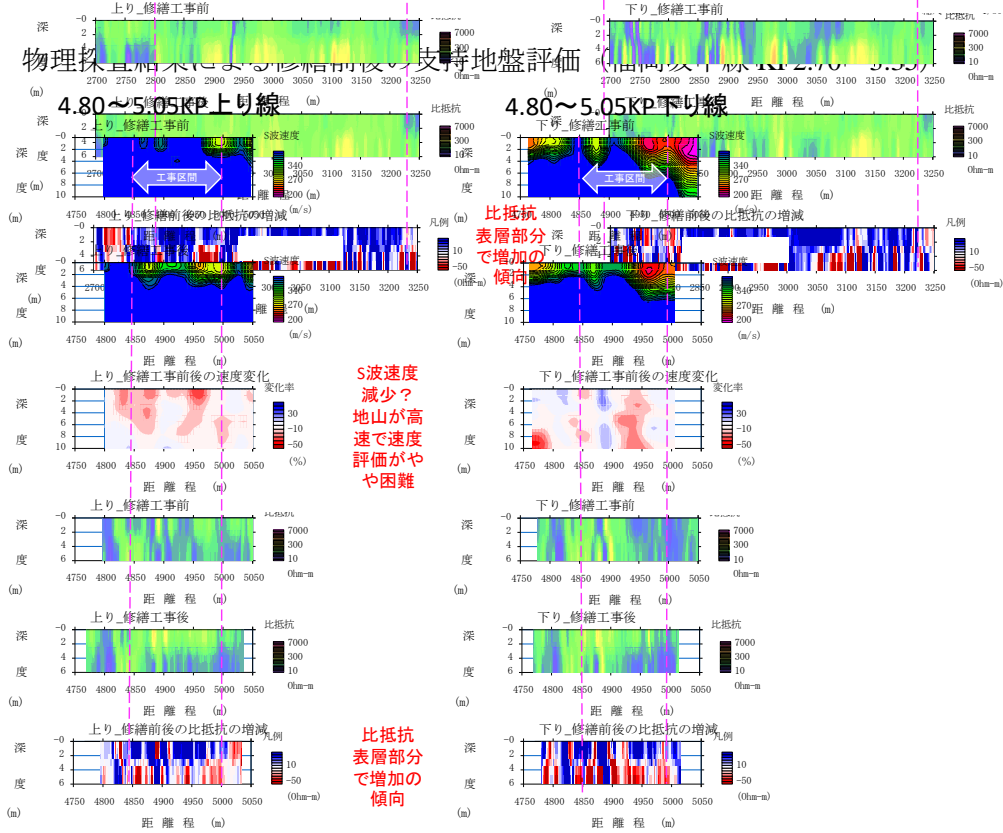


図-28 物理探査結果による修繕前後の支持地盤評価 (福岡下線 KP4.80~5.05)

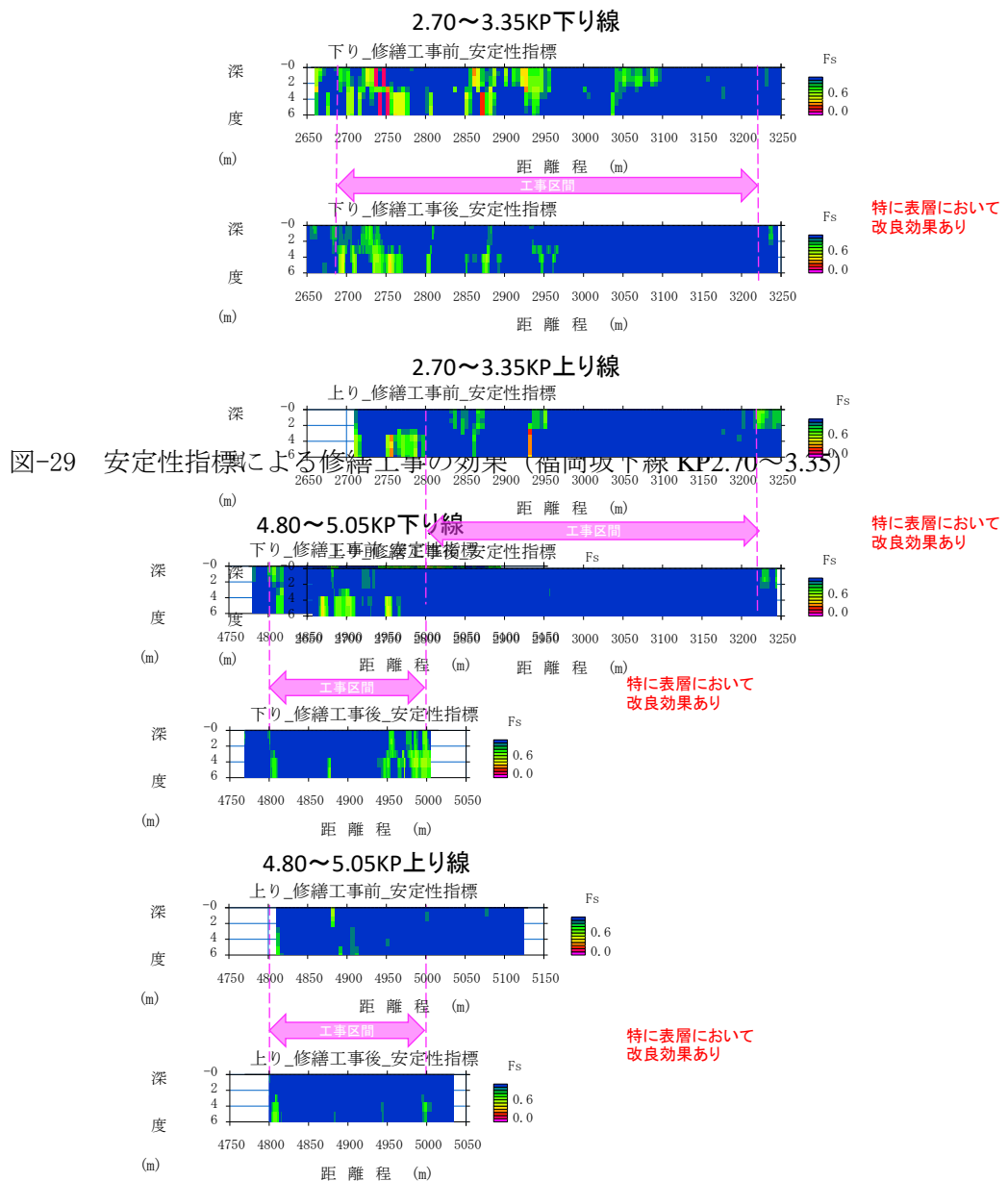


図-29 安定性指標による修繕工事の効果（福岡坂下線 KP2.70～3.35）

図-30 安定性指標による修繕工事の効果（福岡坂下線 KP4.80～5.05）

c 修繕効果確認のための長期的モニタリングシステムの開発

長期的な修繕効果確認のために、補強材内に光ファイバセンサーを内在した新しいセンシング技術による継続的計測を実施した。また、舗装内に浸透する水分をモニタリングするための新たなセンサーを開発した。開発したセンサーを試験施工区間に敷設し、継続的計測を実施した。

1. 光ファイバセンサーによるひずみの計測技術

舗装の修繕効果の確認のため、図-31 に示すように、ジオグリッドに光ファイバーを内蔵したセンシング技術（ジオグリッドセンサー）を開発した。本技術は、光ファイバーに光パルスを入

射し、ブリルアン散乱光の周波数の変化からひずみの大きさを計測する BOTDR 方式のひずみアナライザを用いて、ジオグリッドに生じるひずみを計測する技術である。

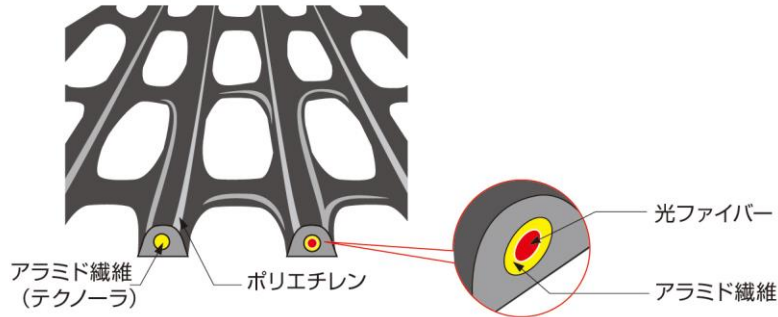


図-31 ジオグリッドセンサー

平成 30 年に行った岐阜県管理道（安八海津線）における試験施工において、修繕効果の確認をするためにジオグリッドセンサーを適用した。ジオグリッドセンサーの配置を図-32 に、ジオグリッド型センサーの敷設状況と後述する大型車両の走行試験の状況を写真-14 に示す。試験施工では、表層アスファルトを切削して上層路盤を掘削した後に、区間①：上層路盤と表層の再構築による修繕、区間②：上層路盤の砕石をジオセルに充填する修繕、区間③：上層路盤を瀝青安定処理混合物に置き換える修繕、区間④：上層路盤をジオグリッドと瀝青安定処理混合物に置き換えるそれぞれの修繕区間において、車道中央部の上層路盤の底面に幅 0.3m、長さ 30m のジオグリッドセンサーを敷設した。ひずみの計測は、2018 年 8 月の修繕工事完了後から概ね 1 ヶ月ごとに実施し、平成 30 年 10 月には重量が 5t と 10t の大型車両を走行させ、図-32 に示した各区間を横断するボックスカルバートの境界に車両を停車させた状態でひずみを計測した。また、平成 31 年 2 月以降は概ね 6 ヶ月経過ごとにひずみを計測した。

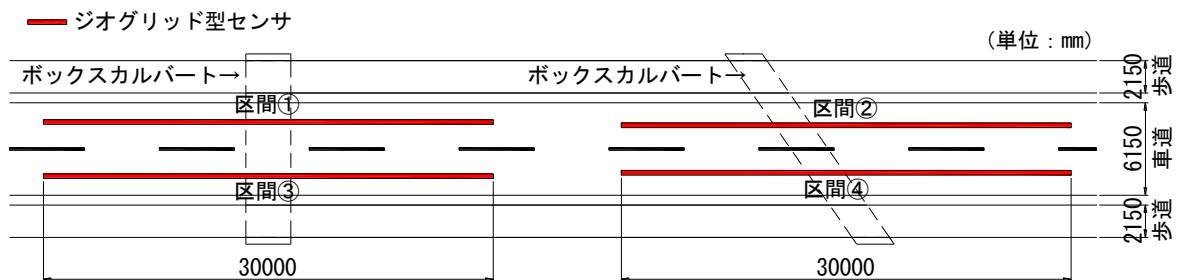


図-32 ジオグリッドセンサーの配置



(a) ジオグリッドセンサーの敷設状況



(b) 大型車両の走行試験

写真-14 試験施工の状況

上層路盤の転圧後のひずみを初期値としたときの道路延長方向におけるひずみ分布を図-33に、ボックスカルバート境界から1mの位置（図-32中の矢印の位置）におけるひずみの経時変化を図-34に示す。試験施工の完了後は圧縮側のひずみが累積する傾向であるが、大型車両を走行させると、ひずみは車両の走行前に比べて引張側に変化したため、路面には健全な範囲の微小な曲げ変形が生じたと考えられる。平成30年12月にかけては圧縮側のひずみが累積し、2019年2月から8月にかけて引張側のひずみが累積しているため、路面の温度変化の影響を受けていると考えられる。2019年8月のひずみは、試験施工直後の平成30年9月のひずみと同程度であり、舗装の不具合は生じていないと考えられる。なお、区間②については、平成31年4月に路盤の補修工事を行った際に、光ファイバーケーブルが切断されたため計測データはない。

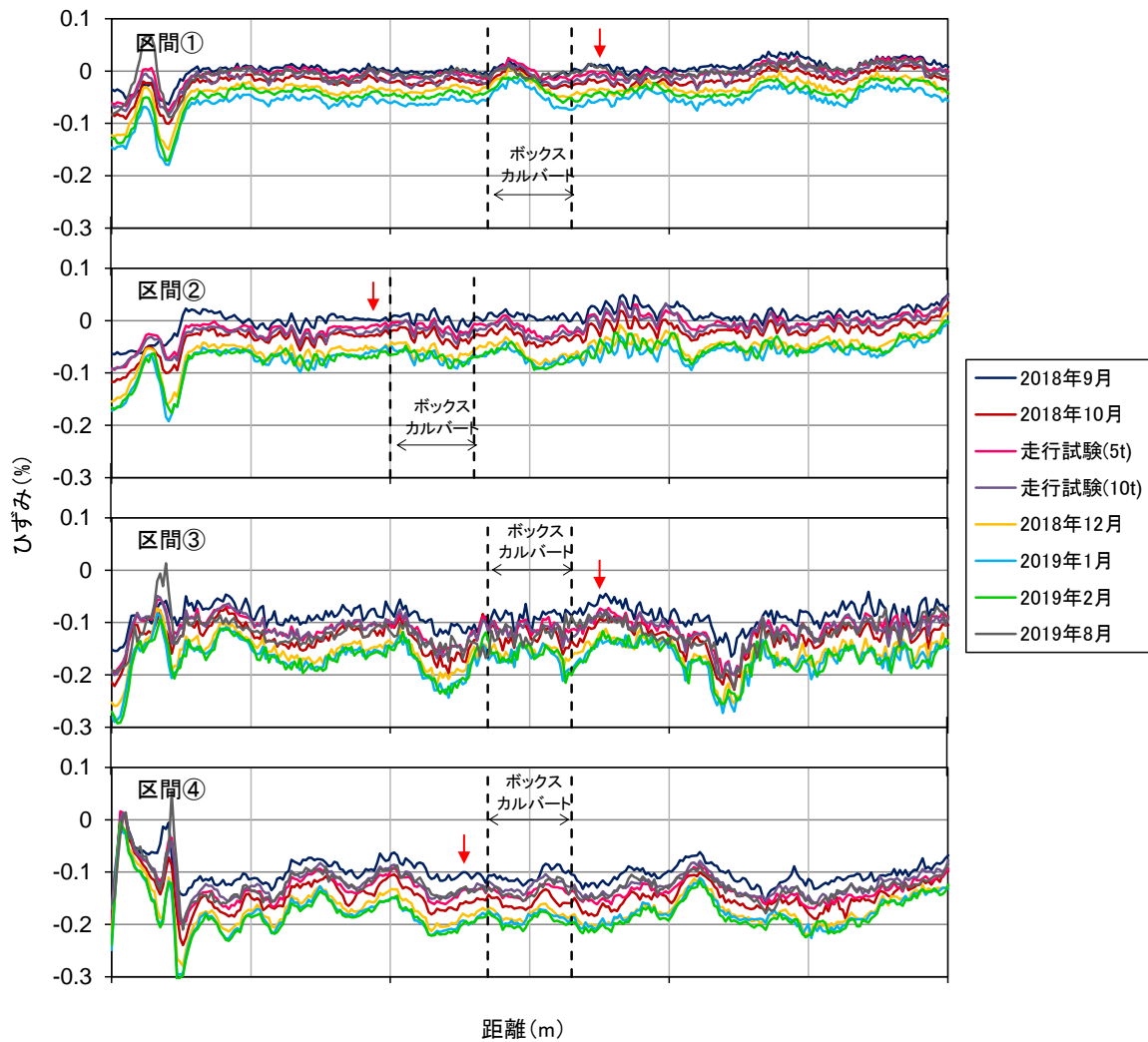


図-33 ひずみ分布の計測結果

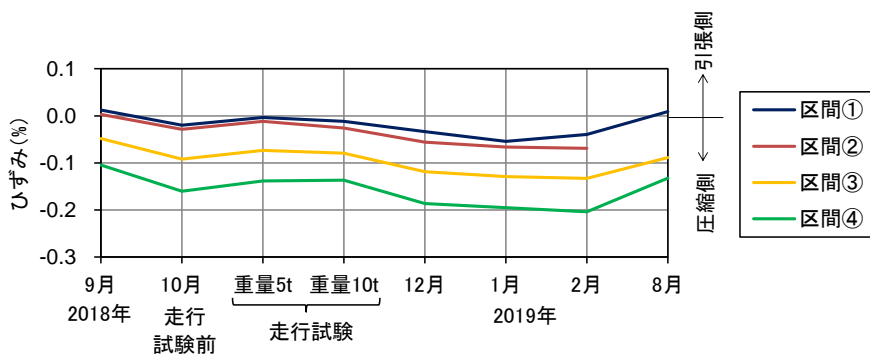


図-34 ボックスカルバート境界のひずみの経時変化

2. 路盤内の水分計測用ジオグリッドの開発

路盤内の水分の変化をモニタリングする技術として、ジオグリッドに電極を挿入し、静電容量式土壌水分計として適用する水分センサーを開発した。本センサーは、図-35に

示すように、ジオグリッドに正負の電極を2列挿入した構造で、電極には耐久性を考慮して炭素繊維を用いている。

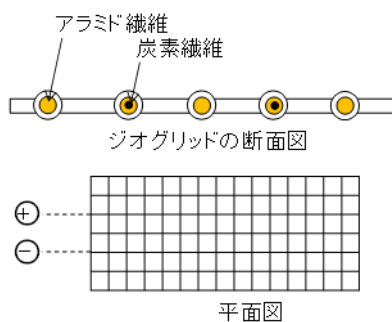


図-35 水分センサーの概要図

本センサーの適用性を確認するために砂質土を充填した深さ 70cm の土槽に長さ 2m の水分センサーを深さ 20cm と 50cm の位置に埋設して、長期計測を行った。静電容量は降雨の発生に応じて上昇しているため、土中の飽和度も緩やかに上昇していた。また、計測された静電容量の値は安定しており、水分センサーとしての適用性があることを確認した。

岐阜県管理道（福岡坂下線）において、水の浸入により舗装が劣化している箇所、本センサーにより路盤に浸入する水分の変化をモニタリングすることを試みた。水分センサーの適用箇所を図-36に、水分センサーの舗装への埋設位置を図-37に、設置状況を写真-15に示す。水分センサーの寸法は幅0.3m×長さ3mで、舗装の補修時に上層路盤の底面に設置した。また、本試験施工では、地山側に水位計を設置して、地山の水位のモニタリングも試みた。

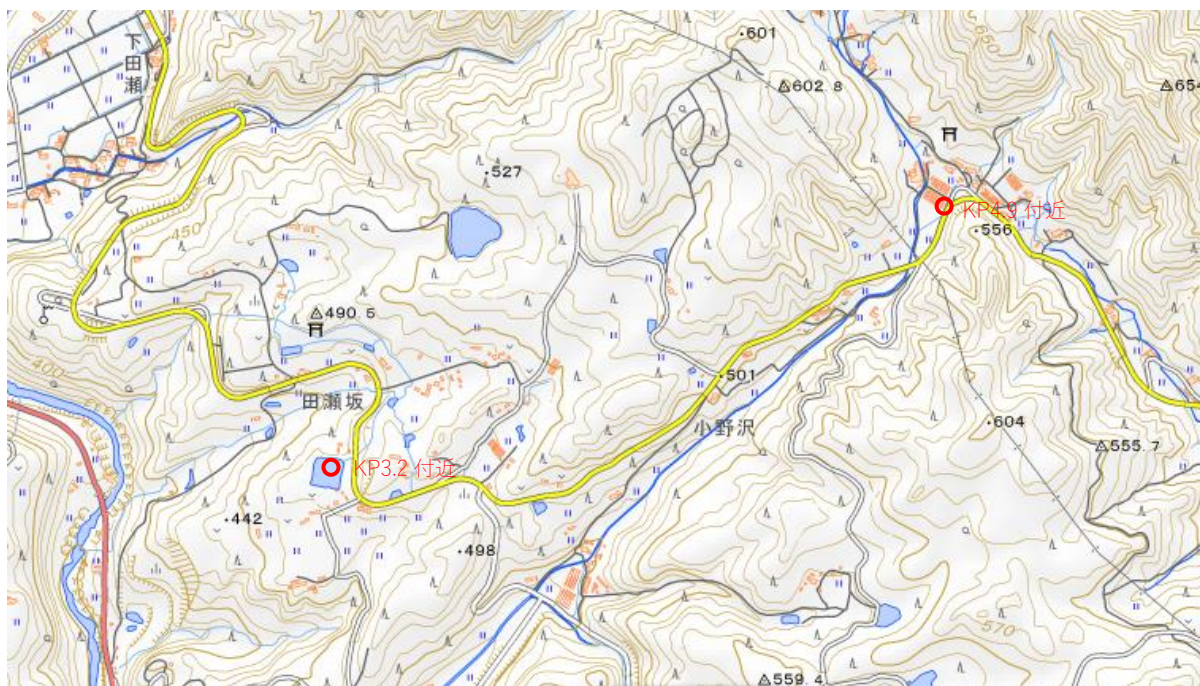


図-36 水分センサーの適用箇所（地理院地図より引用）

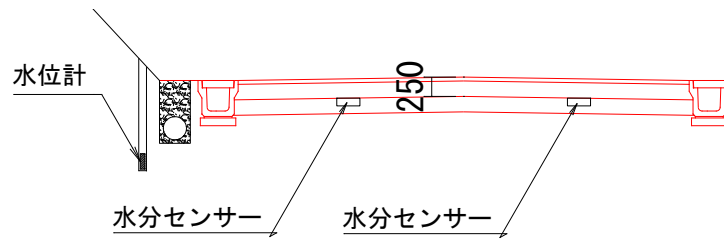


図-37 水分センサーの敷設位置



(a) 路盤の掘削



(b) 水分センサーの設置



(c) 水分センサーの埋戻し



(d) 上層路盤の補修

写真-15 水分センサーの設置状況

KP3.2 付近の下り線に設置した水分センサーは施工時に断線してしまい、データが記録できていない。また、KP4.9 付近に設置したセンサーについては、データロガーの不具合によりデータが記録できていなかったため、データロガーを交換する予定である。試験施工後の令和元年 11 月から 1 ヶ月経過後の KP3.2 付近（谷側）での計測結果と、気象庁（中津川）による 24 時間雨量の観測記録を図-38 に示す（一部、データが欠損）。現時点では、水分センサーと水位計による出力値や、雨量との間に有意な関係があるか不明確であるため、今後もモニタリングを継続する必要がある。

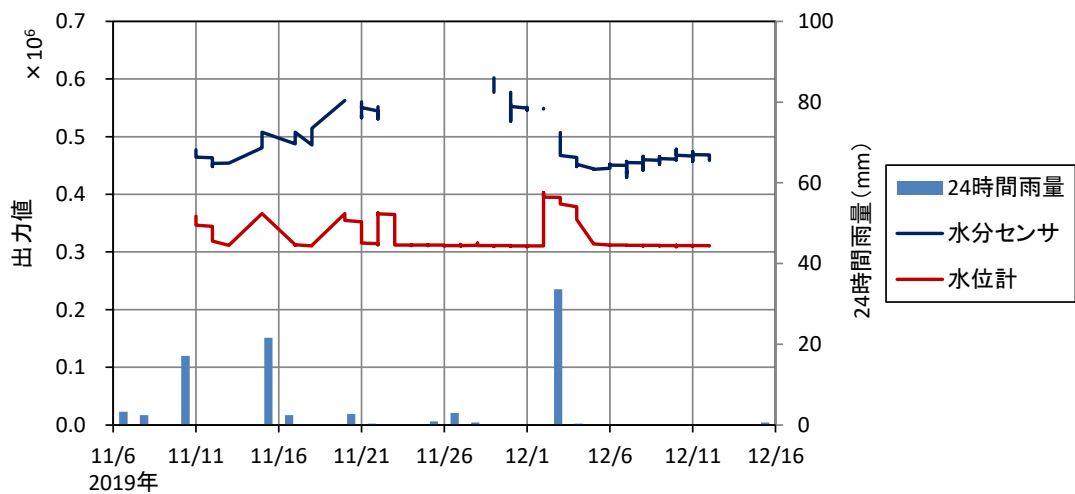


図-38 計測結果 (KP3.2 付近上り線)

今後の課題：

1. 2路線3区間で実施した抜本的修繕の効果検証のためには、令和2年度および研究期間終了後においても継続的な「路盤のひずみ」および「路盤の水分変化」を計測していく必要がある。
2. 一方、修繕効果を早急に確認するためには、たとえば、強制段差を与えることができる実大規模実験の実施などが最適である。
3. 瀝青混合材に用いられる骨材とジオグリッドの目合いについては、かみあいが十分得られる目合いの大きさを確定するための検討が必要である。
4. 上層路盤に用いられる粒度調整碎石が水の侵入を受けた際の、繰返し荷重（交通荷重）下での強度低下現象をより定量的に把握するためには、ことなる修正CBR条件下での繰返し載荷試験の実施が必要である。

上記1.,2.,3. の課題については、令和元年度の研究計画に組み込んだ。上記4.の課題についても、実施できる方向性を検討している。

⑦研究成果の発表状況

(本研究から得られた研究成果について、学術誌等に発表した論文及び国際会議、学会等における発表等があれば記入。)

- 八嶋 厚, 村田芳信, 苅谷敬三, 岡村拓朗: 道路土工と舗装の一体型点検・診断に基づいた長寿命化修繕方法の開発(1) -研究開発の背景と目的-土工と舗装の一体化?- 第54回地盤工学研究発表会, 2019
- 岡村拓朗, 八嶋 厚, 村田芳信, 苅谷敬三, 西村栄司: 道路土工と舗装の一体型点検・診断に基づいた長寿命化修繕方法の開発(2) -国道41号線の舗装修繕履歴にみる舗装のライフサイクル評価-, 第54回地盤工学研究発表会, 2019
- 村田芳信, 八嶋 厚, 苅谷敬三, 岡村拓朗, 白川忠良, 岩崎公治: 道路土工と舗装の一体型点検・診断に基づいた長寿命化修繕方法の開発(3) -試験施工の修繕前後における一体型点検・診断による効果評価-, 第54回地盤工学研究発表会, 2019
- 伊藤修二, 久保哲也, 横田善弘, 八嶋 厚, 苅谷敬三, 村田芳信, 岡村拓朗: 道路土工と舗装の一体型点検・診断に基づいた長寿命化修繕方法の開発(4) -試験施工における長寿命化修繕工法の施工性と経済性-, 第54回地盤工学研究発表会, 2019
- 苅谷敬三, 八嶋 厚, 村田芳信, 岡村拓朗, 辻 慎一郎, 横田善弘, 江口真澄: 道路土工と舗装の一体型点検・診断に基づいた長寿命化修繕方法の開発(5) -打換えた路盤材の性能確認試験による強度特性-, 第54回地盤工学研究発表会, 2019
- 辻 慎一郎, 伊藤修二, 八嶋 厚, 苅谷敬三, 村田芳信, 岡村拓朗: 道路土工と舗装の一体型点検・診断に基づいた長寿命化修繕方法の開発(6) -試験施工の長寿命化修繕工法の長期モニタリング評価-, 第54回地盤工学研究発表会, 2019
- 八嶋 厚, 村田芳信, 苅谷敬三, 岡村拓朗, 中島良光, 山本和範, 石黒 健: 道路土工と舗装の一体型診断に基づいた長寿命化修繕への試み, 土木学会全国大会第74回年次学術講演会, 2019
- 村田芳信, 八嶋 厚, 苅谷敬三, 中島良光, 山本和範, 石黒 健: 道路土工と舗装の一体型診断に基づいた高規格道路の長寿命化修繕への試み, 第33回日本道路会議, 2019
- 八嶋 厚, 村田芳信, 苅谷敬三, 岡村拓朗, 辻 慎一郎, 伊藤修二, 横田善弘: ジオシンセティックスを用いた路盤改良による道路舗装長寿命化への試み, 第33回日本道路会議, 2019
- Yashima, A., Murata, Y., Kariya, K., Okamura, T., Taniguchi, Y. and Sekiguchi, M. : Stability assessment on expressway embankments by automatic survey and evaluation system, Proc. International Conference on Case Histories and Soil Properties, Singapore, CD-ROM, 2019.12.
- Murata, Y., Kariya, K., Yashima, A., Okamura, T., Nguyen, H-Q., Yokota, Y., Ito, S. and Tsuji, S. : Long-life repair method for road based on soundness evaluation of embankment and pavement, 第8回日中地盤工学シンポジウム, 京都, 2020.3. 発表予定

⑧研究成果の活用方策

(本研究から得られた研究成果について、実務への適用に向けた活用方法・手段・今後の展開等を記入。また、研究期間終了後における、研究の継続性や成果活用の展開等をどのように確保するのかについて記述。)

- 本研究では、研究代表者および共同研究者が開発した自動化統合物理探査技術による舗装と盛土の一体型点検診断方法について、LCC最小化を目指した詳細調査方法の高機能・効率化と抜本的修繕工法の開発を進めている。その成果は、平成30年度および令和元年度において、岐阜県管理道2路線3区間で、抜本的修繕工法の採用に至った。このように、舗装と土工の一体となった点検診断は、岐阜県において、道路の抜本的修繕へ向けた着実な流れとなっている。
- NEXCO管理道、愛知多道路といった高規格道においても、自動化統合物理探査技術による舗装と盛土の一体型点検診断は適用されており、次年度以降についても計測が予定されている。このように、LCC最小化を目指した道路の自動化統合物理探査は、今後とも社会的要請が強い。
- 新規開通区間盛土の初期剛性把握のために、自動化統合物理探査技術が新東名、新名神、東海環状道などで採用されている。次年度以降も4車化工事区間を対象とした計測が予定されており、将来の盛土点検のための初期剛性データベースとしての利用価値が認識されている。
- 開発した自動化統合物理探査技術は、道路のみならず延長距離の長い河川堤防等の土構造物についても、詳細調査絞り込みのためのスクリーニング技術として有効である。次年度、ある県の管理河川堤防において実施が計画されているなど、道路のみならず線形土構造物の維持管理のための調査手法として注目されている。
- 簡便でありながら、平面・深度両方向に広がりを持った地盤情報を短時間で得られることから、液状化判定などにも適用可能である。クライストチャーチ地震で甚大な被害が発生した広範囲な住宅地において、開発手法を適用し、短時間で正確な液状化判定を実現した。
- 以上のように、「自動化統合物理探査→抜本的修繕工法の提案と選択→修繕工事」を実施したが、その効果確認は、今後の長期的継続確認を待たなければならない。したがって、研究期間終了後においても、岐阜県管理道に設置したジオグリッド光ファイバセンサーと水分センサーの計測を継続していく。
- 使用目標年数に満たない期間で修繕を繰返す区間では、「自動化統合物理探査による点検評価→抜本的修繕工法の適用と選択→修繕工事実施→長寿命化効果確認」による、新しいメンテナンスフローの適用により舗装の長期安定化とLCC最小化を図る必要がある。このためには、道路管理者が道路の性能評価に基づいて、長期的視点に立った維持管理施策を継続的に検討・実施できるようにマニュアル整備が必要である。これまでに実施した試験工事の効果評価と併せて、令和2年度に実例に基づいた「修繕工法選定・設計マニュアル」と「施工マニュアル」の作成を実施する。
- 支持地盤の不均一さが原因で生じる路面の損傷や沈下に対して、上層路盤の打替に併せて実施する補強工法の効果を確認するためには、試験工事などの実現場で確認検証することが最も確実である。しかし、その効果を確認するためには長期的なモニタリングが必要となる。そこで、令和2年度には短期間に支持地盤に不同沈下を強制的に生じさせて、補強工法の効果を確認することができる実物大の実験を行う。
- 実物大の実験は、国土交通省国土技術政策総合研究所内に建設が進む、強制段差発生機

能を有する実大試験装置を用いて、提案修繕工法の妥当性検証を実施する。

- また、本研究は、性能照査に基づいた抜本的修繕技術の開発を目標としている。このためには、路盤以深の不等沈下に付随して発生する、舗装表面のクラックや平坦性損失などの定量的指標について、従来の標準的補修工法（オーバーレイ、切削オーバーレイなど）と抜本的修繕工法の効果を比較しておく必要がある。このためにも、強制段差を与えることができる実大規模実験による検証が極めて有効と考える。

⑨特記事項

(本研究から得られた知見、学内外等へのインパクト等、特記すべき事項があれば記入。また、研究の目的・目標からみた、研究成果の見通しや進捗の達成度についての自己評価も記入。)

- 本研究は、研究代表者が研究全体を統括し、舗装表層の供用年数が使目的に満たず早期に劣化が進行し、補修が高頻度で繰返される区間について、経済的な道路管理の観点からLCC最小化を目指した詳細調査方法の高機能・効率化と抜本的修繕工法の開発を進めている。この取り組みは、国土交通省中部地方整備局道路部および岐阜県県土整備部道路維持課等の絶大なる賛同を得て、土木学会中部支部に調査研究委員会「道路盛土と舗装の一体型診断システムと長寿命化修繕方法検討委員会」が設置された。国および自治体の道路管理者のみならず、盛土の安定問題に造詣が深い名古屋大学教授、道路専門業者、NEXCO関係者、補強材メーカーなどの有識者も参画し、研究目的達成のために有意義な議論を展開している。
- 研究代表者および共同研究者が開発した自動化統合物理探査技術による舗装と盛土の一体型点検診断結果に基づいて、岐阜県が独自に県単独事業として路盤改良工事を実施した。LCC最小化を目指した抜本的修繕工法の開発において、長期的基盤データを提供するものである。平成30年度においては、盛土の不均一性に基づく段差発生条件下における長寿命化工事を実施した。令和元年度においては、地下水の侵入が懸念される切土部における長寿命化工事を実施した。
- 平成30年度においては、路盤の縦断方向ひずみを直接計測する新しい手法を開発した。令和元年においては、路盤内の水分変化を計測するための新しい手法を開発した。今後、開発したセンサーによる計測を継続するとともに、路面の劣化状況を注意深く観測し、補強材の長期的な性能維持への効果を確認する。
- 今後重交通の著しい増加が見込まれる岐阜県管理道等において、自動化統合物理探査技術を用いた路盤・路床の評価が期待されている。また、路盤への水の浸入と路盤材料の劣化を抑制するための路盤の予防的修繕が期待されている。このように、舗装と土工の一体となった点検診断は、岐阜県において、道路の抜本的修繕へ向けた着実な流れとなっている。
- 令和2年度においては、本研究の成果として、「修繕工法選定・設計マニュアル」および「施工マニュアル」を作成する。これまで、土木学会中部支部調査研究委員会「道路盛土と舗装の一体型診断システムと長寿命化修繕方法検討委員会」において、「ハイブリッド点検により、盛土および支持地盤の不均一な箇所、地下水など水の侵入による劣化損傷箇所の選定と、その原因に基づいた効果的な修繕工法の適用を図るためのマニュアルとして整備することが大切」との意見集約を得ている。マニュアル作成においては、骨子の段階より、委員会構成員（特に、国交省中部地方整備局道路部、岐阜県基盤整備部道路維持課、NEXCO総研土工部などの道路管理者）への意見照会を繰り返し、道路

管理者の目が確実に反映されたマニュアル作りを心掛ける。

- 以上のように、平成30年度および令和元年度に実施した研究に基づき、令和2年度の研究に繋がる成果、知見およびデータ等の蓄積が順調に進んでいる。