

◆特集：土木分野におけるリサイクル技術◆

排水性舗装発生材のリサイクル

小長井彰祐* 新田弘之** 久保和幸*** 西崎 到****

1. はじめに

排水性舗装は、路面の雨水を速やかに排水することによる車両の走行安全性向上効果や道路交通騒音の低減効果等を有しているため、全国的に普及しており、アスファルト舗装におけるシェアを拡大しつつある。そのような中で、直轄国道における排水性舗装の面積も、図-1に示されるとおり平成8年度頃から急速に増加してきている。

一方、我が国の産業廃棄物の総量は年間約4億トンで、そのうち建設業からのものはその20%を占め、さらにその36%をアスファルト舗装発生材

が占めている。このように発生量の多いアスファルト舗装発生材であるが、現在ではリサイクル技術が広く浸透しており、その再資源化率は99%と高い水準に達している(図-2)¹⁾。

排水性舗装の表層に用いられるポーラスアスファルト混合物には、特殊な材料が使われており、この発生材のリサイクル技術は確立していない。近い将来には多くの排水性舗装が更新時期を迎え始め、この発生材が増加していくことになる。アスファルト舗装発生材の高いリサイクル率を維持するためにも、排水性舗装から出る発生材をリサイクルすることが強く求められている。

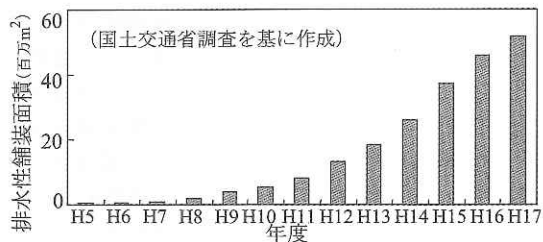


図-1 直轄国道の排水性舗装面積の推移

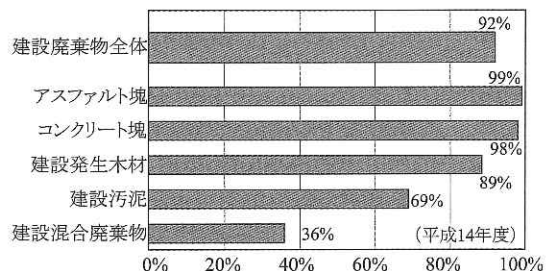


図-2 建設廃棄物の品目別再資源化率等¹⁾

表-1 排水性舗装発生材リサイクルで懸念される点と従来の密粒系アスファルト混合物のリサイクルとの比較

| 項目 | 排水性舗装発生材のリサイクルで懸念される点 | 従来の密粒系アスファルト混合物のリサイクル |
|---------|--|---|
| 発生形態 | ・切削材として搬入 ・一時期にまとめて搬入 | ・アスファルトコンクリート塊としての搬入が主で切削材もあり ・連続的に搬入 |
| 性状 | ・切削状況により、粒度が変動 ・細粒化により、粒度調整が必要 ・再生骨材中の旧アスファルト針入度の評価妥当性が不明 | ・地域毎に再生骨材中の平均的な粒度・アスファルト量・針入度が把握可能 ・切削材は、一般の再生骨材より粒度が細かい ・再生骨材中の旧アスファルトは抽出して確認可 |
| 配合設計 | ・粒度の変動が大きく、発生材の粒度を現場毎調査して配合設計が必要 | ・再生骨材の粒度は安定しているので管理データで可 ・切削材は定量使用で配合することで対応可 |
| 製造 | ・再生に関する適切な評価指標が未確立 ・再生用添加剤等の材料や性状等の基準なし | ・舗装再生便覧に従う (再生用添加剤や混合物性状等の基準有り) |
| 施工 | ・再生骨材単独で加熱する場合、温度が上がりにくい ・ドライヤへのアスファルトモルタル付着の懸念 ・再生骨材の加熱温度の目標値が未確立 | ・再生専用の装置有り |
| 耐久性・供用性 | ・一般の施工機械で施工可能か不明 ・すりつけ等の手引きの施工性が不明 ・重交通道路での供用性や長期の耐久性が不明 ・再生骨材配合率の限界が不明 | ・一般の施工機械で施工可能 ・再生骨材配合率によらず、新規混合物と同等 |

本報文では、排水性舗装発生材のリサイクルに関する課題とその解決に向けた取組みを報告する。

2. 排水性舗装発生材リサイクルの課題

排水性舗装発生材リサイクルで懸念される点と従来のアスファルト混合物のリサイクルとの比較を表-1に示す。

ポーラスアスファルト混合物に使用するアスファルトは、骨材と骨材とが接触する面積が小さくても十分な耐久性が得られるように、粘性が非常に高い特殊な改質アスファルトを用いている。これによって、十分な耐久性が得られる一方で、このことが通常の再生方法での対応を困難にしている要因にもなっている。また、骨材の配合については、空隙率が20%程度となるように開粒度で配合している。この配合は、一般的な粒度と大きく異なるためリサイクル時に調整が難しく、かつ、切削などの際に粒度の変化を起こしやすく、元の粒度への調整が難しい。

これらの課題解決に向けて、土木研究所では、これまでに室内試験および屋外での大型車による促進載荷試験を実施²⁾しており、主に以下のことが明らかになっている。

(1) 密粒系舗装表層へのリサイクル

- 1) 排水性舗装発生材に含まれる旧アスファルトの抽出は困難である。
- 2) 排水性舗装表層からの切削材(13~0mmに分級)を50%使用した場合、大型車走行49kN換算輪数57万輪まで(N5交通5年程度)で大きな問題はない。

(2) 排水性舗装表層へのリサイクル

- 1) 品質のばらつきが大きく、ダレ量も大きい。
- 2) 排水性舗装表層からの切削材(13~0mmに分級)を30%使用した場合、大型車走行49kN換算輪数57万輪まで(N5交通5年程度)で大きな問題はない。

この他にも、排水性舗装発生材リサイクルに向けて、日本道路公団試験研究所(現中日本高速道路(株)中央研究所)^{3),4)}、東京都土木技術研究所(現東京都土木技術センター)^{5),6),7),8),9)}等において検討されており、配合設計方法の提案や高速道路、地方道における再生舗装の供用性に関する知見などが公表されている。

以上のように、排水性舗装発生材のリサイクル技術の確立へ向けて、各方面で検討が行われているところである。しかし、排水性舗装発生材を使用した密粒系アスファルト混合物やポーラスアスファルト混合物を重交通路線の表層へ適用した場合の再生骨材配合率の限界値や供用性、長期の耐久性が明らかでないなどの課題が残されている。

3. 直轄国道における試験施工

排水性舗装発生材を使用した密粒系アスファルト混合物やポーラスアスファルト混合物を直轄国道の重交通路線に試験舗装し、製造、施工および供用性に関する検討を実施した。

3.1 試験施工

3.1.1 概要

本試験施工に使用した排水性舗装発生材は、表層切削材のみを対象とした。

密粒系舗装へリサイクルする場合は、再生骨材配合率の限界点を求めることと、配合設計時にア

表-2 試験施工箇所および工事の概要

| 地盤 | 略称 | 試験施工 舗設場所 | 発生材履歴 供用年数 | 再生骨材の 分級種別 | 再生骨材配合率 | 旧アスファルトの再生方法 |
|----|--------|------------------|---------------|------------------|----------------------------|--|
| 北陸 | 8号白根 | 国道8号 新潟県白根市 | 8年 | 13~0mm | 再生材30% (針入度40, 50, 60) | 再生用添加剤(オイル系)、改質剤を併用 針入度が40, 50, 60になるように再生用添加剤量を決め、混合物の性状を満足するように改質剤量を決定する。 |
| 九州 | 3号山鹿 | 国道3号 熊本県鹿本郡 | 6年 | 13~0mm | 再生材20%, 30%, 50% | 再生用添加剤(オイル系)を単独使用 針入度が50となるように再生添加剤量を決定する。 |
| 関東 | 16号市原 | 国道16号 千葉県市原市 | 5年 | 13~5mm 13~0mm | 各再生材20%, 30% | 目標とする再生ポーラスアスファルト混合物の性状を満足する再生用高粘度改質アスファルトを使用する。 |
| 近畿 | 176号西宮 | 国道176号 兵庫県西宮市 | 7年 | 13~5mm 13~0mm | 再生材20%, 30%, 50% 再生材30% | 目標とする再生ポーラスアスファルト混合物の性状を満足するように再生添加剤量を決定する。 |
| 中国 | 2号下関 | 国道2号 山口県下関市 | 7年 | 13~5mm 13~0mm | 再生材20%, 30%, 50% 再生材30% | 目標とする再生ポーラスアスファルト混合物の性状を満足するように再生添加剤量及び改質剤量を決定する。 |

スファルトの回復をどの程度見込むのかを検討することとした。排水性舗装ヘリサイクルする場合は、目標空隙率を20%とし、再生骨材粒度調整の要否と、再生骨材配合率の限界点を検討することとした。アスファルトの回復方法はまだ定まった方法がないため、舗装再生便覧¹⁰⁾に紹介された方法のいずれかによるものとし、限定はしなかった。表-2に試験施工箇所および工事の概要を示す。

3.1.2 発生材の調査

排水性舗装の既設表層部のみを切削、分級して再生骨材とした。また、分級サイズは、13~0mmと13~5mmの2通りとした。これらの再生骨材について、粒度、旧アスファルト量および旧アスファルトの性状を調査した。

3.1.3 製造に関する調査

試験施工に使用した再生混合物は、全箇所併設加熱方式の再生プラントで製造した。製造された混合物に対して、カンタブロ試験や動的安定度試験等の物性試験を実施した。また、再生アスファルトプラントでの製造実施者に対して、再生混合物の製造の準備および製造条件に関するアンケート調査を実施した。

3.1.4 施工に関する調査

各工事について、機械編成等の条件調査を実施した。また、工事実施者に対して施工性に関するアンケート調査を実施した。

3.1.5 供用性に関する調査

各試験施工工区について、表-3に示すとおり路面に対する調査を実施した。

3.2 調査結果

3.2.1 発生材の性状

(1) 粒度

図-3に旧アスファルト抽出後の骨材粒度を示す。再生骨材13~0mmの2.36mm通過量は多く

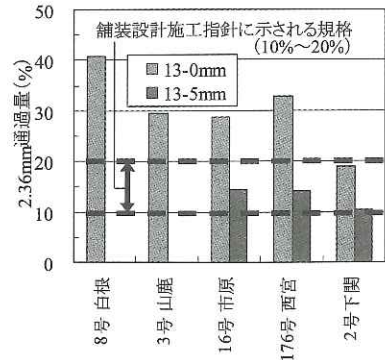


図-3 旧アスファルト抽出後の骨材粒度

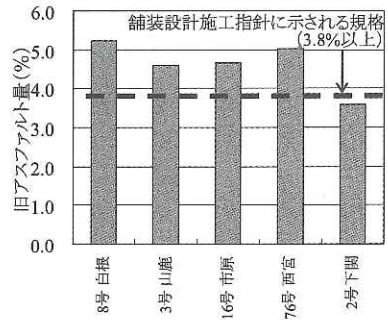


図-4 13~0mm分級再生骨材中の旧アスファルト量

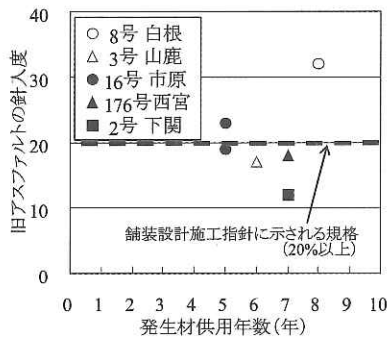


図-5 旧アスファルトの針入度

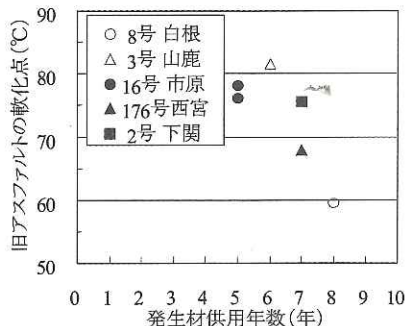


図-6 旧アスファルトの軟化点

表-3 路面に対する調査項目

| 項目 | | 調査時期 |
|------------|--------|----------------------|
| 路面性状 | 平坦性 | 施工直後、6ヶ月、1年 |
| | わだち掘れ量 | ※ひび割れ率測定については直後は行わない |
| | ひび割れ率 | |
| | すべり抵抗 | |
| 表面粗さ (MTM) | | |
| 路面機能 | 現場透水量 | 施工直後、6ヶ月、1年 |
| | タイヤ近接音 | |

※路面機能に関する項目は排水性舗装への再生箇所のみ実施

の場合、舗装設計施工指針¹¹⁾に示されるポーラスアスファルト混合物の粒度範囲を上回っており、切削時の骨材の破碎等による細粒化の影響が認められた。また、再生骨材13~5mmの場合は、舗装設計施工指針に示される粒度範囲内にあった。

(2) 旧アスファルト量

13~0mmに分級した再生骨材中の旧アスファルト量を図-4に示す。2号下関の旧アスファルト量は3.57%であり、舗装設計施工指針に示される値(旧アスファルトの含有量は3.8%以上)を満足しなかった。また、旧アスファルト量の範囲は3.57%~5.24%であり、ばらつきが大きかった。

(3) 旧アスファルトの性状

旧アスファルトの針入度を図-5に、旧アスファルトの軟化点を図-6にそれぞれ示す。

図-5より、旧アスファルトの針入度は12~32であり、供用年数の経過にともない若干低下する傾向にあった。また、全6試料のうち4試料が舗装設計施工指針に示される値(旧アスファルトの針入度は20以上)を満足しなかった。

図-6より、旧アスファルトの軟化点は59.5~81.5℃であり、供用年数の経過により低下する傾向にあった。これは、通常のアスファルトと傾向が異なっており、改質剤の劣化の影響によるものと考えられた。

なお、8号白根は針入度が高くなっているが、旧アスファルトに寒冷地向けの特殊なものが使用されており、通常の高粘度改質アスファルトとは性状が異なっているためと考えられた。

3.2.2 製造に関する調査結果

(1) 再生混合物の性状

再生アスファルトプラントで製造された再生混合物の物性試験結果を以下に示す。

①再生密粒系アスファルト混合物

再生密粒系アスファルト混合物の動的安定度は、すべての配合で目標とした3,000回/mm以上を満足した。また、再生骨材の配合率が高いほど、高い動的安定度を示した。

②再生ポーラスアスファルト混合物

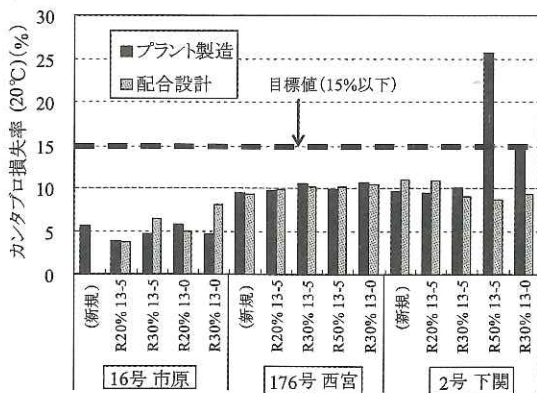
再生ポーラスアスファルト混合物のカンタプロ損失率(20℃)を図-7に示す。カンタプロ損失率(20℃)は概ね配合設計時に目標とした15%以下を満足したが、再生骨材配合率50%の混合物の中には、配合設計時とプラント製造時においてカンタプロ損失率の差が大きく、かつプラント製造混合物のカンタプロ損失率は25.6%と目標値を満足できないものがあった。また、低温のカンタプロ損失率(-20℃)についても、プラント製造の再生骨材配合率50%の混合物の中には値が大きいものがあった。

動的安定度については、すべての配合で目標とした3,000回/mm以上を満足した。

(2) プラントへのアンケート結果

混合物製造実施者に対して行った製造に関するアンケート調査の結果は以下のとおりであった。

- 1) 排水性舗装発生材および分級製造した再生骨材を分別して貯蔵するスペースの確保が困難である。
- 2) 配合設計に時間を要するため、排水性舗装発生材および分級製造した再生骨材の貯蔵が長期間となる。
- 3) 再生骨材の加熱温度を高くする場合、バグフィルタの燃焼が懸念される。また、適切に温度コントロールをするための技術が必要である。
- 4) 再生骨材の温度コントロールが難しく、製造の準備に時間を要するため、製造する混合物の種類を切替える際に、廃棄による材料のロスや時間のロスが生じ、製造効率が低下する。
- 5) 事前に懸念された「再生骨材加熱用ドライヤへのモルタル分の付着」は少なく、通常の再生骨材と同程度である。



注) 'R20%'は'再生骨材配合率20%'、'13-5'は'再生骨材13-5mm'の意味
図-7 再生ポーラスアスファルト混合物のカンタプロ損失率(20℃)

以上のように、製造効率についていくつか解決を要する意見があった。製造そのものは、事前の準備もあり、大きな問題はなく行われており、今後は製造効率の向上についても対応が必要と考えられた。

3.2.3 施工に関する調査結果

(1) 施工条件

各対象工事とも施工機械編成は通常の密粒系舗装あるいは排水性舗装と同様であり、本試験施工用に特殊な機械などは使用しなかった。

(2) 施工性

現場技術者および施工業者に対して行った施工性に関するアンケート調査において指摘された事項は、以下のとおりであった。

①密粒系舗装へのリサイクル

- 1) 再生骨材配合率50%の場合、滲みだしがやや多く、表面のキメが細かい。
- 2) 針入度40および再生骨材配合率20%、30%の場合、敷均し作業がやや劣る。

②排水性舗装へのリサイクル

- 1) 再生骨材配合率50%の場合、ダンプ荷台への付着が多い。
- 2) 運搬、敷均し、フィニッシャでの引きずりやダマの発生などで施工性がやや悪い。
- 3) 再生骨材配合率や再生骨材の粒径の違いによる施工性への影響は見られない。

以上のようにいくつかの指摘はあるものの、大半のアンケートでは特別な指摘はなく、すべての工区において特殊な施工機械編成を採っていないこと、および施工直後の路面性状は新規混合物と比較して同等であることから、再生密粒系舗装ならびに再生排水性舗装の施工において大きな課題はないと判断してよいものと考えられた。

3.2.4 供用性に関する調査結果

路面性状調査結果の例として、密粒系舗装へのリサイクルについて、図-8に8号白根のわだち掘れ量の推移を示す。また、排水性舗装へのリサイクルについて、図-9に176号西宮のわだち掘れ量の推移、図-10に176号西宮の浸透水量の推移をそれぞれ示す。

密粒系舗装へのリサイクルについて、図-8より、再生舗装中のアスファルトの目標針入度に拘わらず、すべての密粒系舗装再生工区は新規密粒系舗装の比較工区と同程度のわだち掘れ量となったことが確認できる。この傾向は、再生骨材配合率を検討項目とした3号山鹿においても同様であった。

排水性舗装へのリサイクルについて、図-9より、すべての排水性舗装再生工区は新規の排水性舗装である比較工区と同程度のわだち掘れ量となったことが確認できる。また、図-10より、浸透水量についても、すべての排水性舗装再生工区は新規の排水性舗装である比較工区と同程度となったことが確認できる。これらの傾向は、16号市原、2号下関においても同様であった。

以上より、本検討の範囲の配合率においては、施工直後から供用後1年程度まで、わだち掘れ量は、密粒系舗装表層へのリサイクル、排水性舗装表層へのリサイクルともに新規の舗装と同程度の供用性を示すことが明らかとなった。この他に、平坦性、すべり抵抗値、路面粗さを調査したが、すべての項目について、供用後1年程度までにおいて概ね新規混合物工区と同等であることが確認できた。また、排水性舗装への再生箇所については、浸透水量の他に、タイヤ近接音も測定したが、

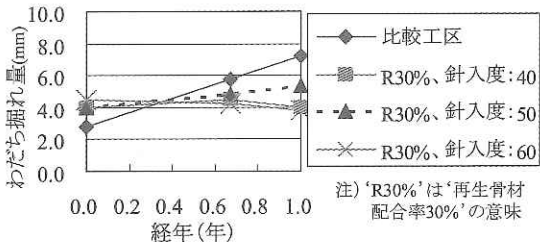


図-8 8号白根のわだち掘れ量の推移

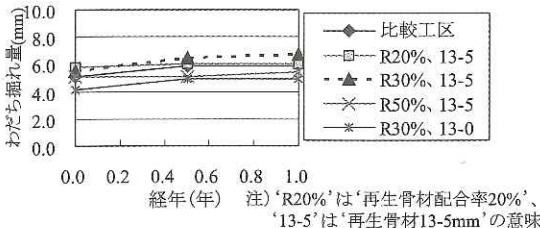


図-9 176号西宮のわだち掘れ量の推移

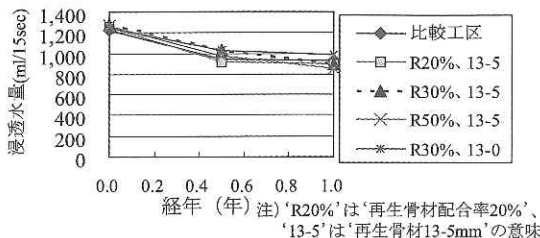


図-10 176号西宮の浸透水量の推移

タイヤ近接音についても供用後1年程度までにおいて概ね新規混合物工区と同等であることが確認できた。

4. まとめ

排水性舗装発生材のリサイクルに関する試験施工の結果をまとめると以下のとおりである。

- (1) 排水性舗装発生材から製造した再生骨材は、切削による細粒化が確認された。これに関しては、13～5mmに分級する、あるいは新規骨材と適切な割合で配合する等、適切に粒度調整を行うことにより、アスファルト混合物に再生することが可能であることが明らかとなった。
- (2) 排水性舗装発生材を使用した再生混合物の試験施工においては、再生骨材を適切に加熱することにより、問題なく再生混合物を製造できた。ただし、各プラントにおいて、事前の温度管理試験練りが必要であった。
- (3) 排水性舗装発生材を使用した再生混合物を舗設する場合、十分な温度管理を行えば、施工性は新規混合物とほぼ同等であった。
- (4) 排水性舗装発生材を使用した再生混合物を舗設した試験舗装の追跡調査では、供用後1年程度までにおいて新規混合物工区（比較工区）と差が生じた区間はなかった。しかし、再生混合物の品質のばらつきや長期供用性が未確認であることを考慮すると、再生密粒系舗装、再生排水性舗装とも、当面、再生骨材配合率は30%程度以下が望ましいものと考えられた。

5. おわりに

排水性舗装表層のみの発生材に対して、供用後

1年程度までの追跡調査結果を報告した。再生アスファルトプラントには排水性舗装以外の密粒系舗装の発生材も搬入され、多くの場合、各々区別して貯蔵できるようにはなっていないのが実情である。したがって、本稿で報告した試験舗装の長期耐久性を確認するとともに、排水性舗装発生材と通常の密粒系舗装発生材が混ざった状態のものをリサイクルするなどの技術を検討していく必要がある。

参考文献

- 1) 国土交通省：平成14年度建設副産物実態調査, 2003
- 2) 新田弘之、伊藤正秀：改質アスファルトのリサイクル技術に関する検討、土木技術資料46-1, pp.44-49, 2004.1
- 3) 本松資朗：高機能舗装のプラント再生に関する研究、アスファルト合材No.69, 2004.1
- 4) 神谷恵三：排水性混合物の再生利用への取組み、アスファルトVol.47, 2004
- 5) 鈴木 勲、武本敏男、峰岸順一：特殊開粒度アスファルト混合物の再生、東京都土木技術研究所年報（平成12年）、pp.93-98, 2000
- 6) 鈴木 勲、武本敏男、峰岸順一：特殊開粒度アスファルト混合物の再生（その2）、東京都土木技術研究所年報（平成13年）、pp.69-78, 2001
- 7) 鈴木 勲、武本敏男、峰岸順一：特殊開粒度アスファルト混合物の再生（その3）、東京都土木技術研究所年報（平成14年）、pp.133-140, 2002
- 8) 武本敏男、峰岸順一、鈴木 勲：再生した特殊開粒度アスファルト混合物の試験施工、東京都土木技術研究所年報（平成15年）、pp.289-292, 2003
- 9) 武本敏男、峰岸順一、小林一雄：低騒音舗装発生材のプラント再生に関する検討、東京都土木技術研究所年報（平成16年）、pp.55-62, 2004
- 10) (社)日本道路協会：舗装再生便覧, 2004.2
- 11) (社)日本道路協会：舗装設計施工指針（平成18年版）、pp.274, 2006.2

小長井彰祐*



独立行政法人土木研究所つくば中央研究所道路技術研究グループ舗装チーム研究員
Akihiro KONAGAI

新田弘之**



独立行政法人土木研究所つくば中央研究所材料地盤研究グループ新材料チーム主任研究員
Hiroyuki NITTA

久保和幸***



独立行政法人土木研究所つくば中央研究所道路技術研究グループ舗装チーム上席研究員
Kazuyuki KUBO

西崎 到****



独立行政法人土木研究所つくば中央研究所材料地盤研究グループ新材料チーム上席研究員, 工博
Dr. Itaru NISHIZAKI