

効率的な スラブ下面補修工法の開発



稲荷 久弥*



小西 俊之*

省力化軌道の一つであるスラブ軌道では、下面てん充層のCAモルタルにおいて東北・上越新幹線開業から27年を迎え、近年劣化が目立ってきている。これまで劣化に対する補修工法は多く存在しているが、劣化度合いに応じた補修工法というものが存在していなかった。そこで劣化度合いに応じた補修工法を考案し、使用補修材料のコスト削減や従来よりも効率的な補修を行うことを目的として新しい補修工法の開発に取り組んだ。実習線スラブ軌道での施工性確認試験や材料の物性試験を通して新規材料や工法の営業線試験敷設を実施し、新しい補修工法の有効性を確認した。

●キーワード：スラブ軌道 CAモルタル 樹脂 型枠工法 コーティング

1. はじめに

新幹線のスラブ軌道において、スラブ軌道下面てん充層であるセメントアスファルトモルタル（以下、CAモルタルと略す）の劣化が近年進む傾向にあり、効率的に補修を行うことが重要である。通常、スラブ軌道の劣化状態の検査はスラブ下面てん充層の欠損や隙間を計測し、その結果、劣化している箇所は補修の対象とされるが、全スラブ軌道のうち毎年約10%が検査で欠損や隙間において有ランクであると判断されており、その割合はほぼ一定で推移している。

2. 新しい補修材料・工法の検討

2.1 検査ランク

スラブ軌道下面CAモルタルの劣化状態の検査は欠損や隙間を計測し、劣化の度合いに応じてC、B、Aにランク付けをしている（表1）。しかし損傷の大きいB、Cランクの補修を優先し、Aランクの箇所は後日、計画的に補修しているのが現状である。また従来の補修工法のように損傷の大きな箇所を補修対象とするような工法を損傷の小さい箇所に同じように適用することは補修材料使用量の観点から適さないとされる。したがってB、Cランク用補修工法と、Aランク用補修工法とに分けることとし、劣化状態に応じた補修工法を検討した。

表1 スラブ検査判定ランク

ランク	欠損	隙間
C	$100\text{mm} < S$	$2\text{mm} < t$
B	$50\text{mm} < S \leq 100\text{mm}$	$1.5\text{mm} < t \leq 2\text{mm}$
A	$20\text{mm} < S \leq 50\text{mm}$	$1\text{mm} < t \leq 1.5\text{mm}$

L
 S
 $1\text{m} \leq L$

t

2.1.1 コーティング工法の提案

前述のとおり、通常、スラブ軌道下面てん充層の欠損・隙間が大きいところから優先して補修を行う傾向がある。したがって即、補修の必要がないとされるAランク箇所が後々B、Cランクへ発展することが予想される。そこでこれまで存在しなかったAランク向け補修工法として、コストや作業の手間をなるべくかけずに補修できるコーティング工法を提案する。

コーティング工法とは、Aランク相当の下面てん充層劣化箇所を20mm程度掘削し、その表面を保護する働きをもつ材料を塗布する工法である。

2.1.2 コーティング工法施工性確認試験

まず代表的なてん充層補修材料メーカーや建築材料のメーカーからヒアリングを行い、既存の材料やその改良品でスラブ下面てん充層のコーティングに用いることが可能と思われる材料について調査を行った。

その中から有効であると思われるものについてJR東日

本総合研修センター実習線において施工性確認試験を実施し、その作業性やコストについて比較することとした。使用材料は表2に示す、6種類を使用した。

表2 使用コーティング材料

判定ランク	メーカー	材料	系統	工法	掘削量
A	W	材料①	アスファルト系	コーティング	20mm
	X	材料②	ビニルエステル系樹脂		
	Y	材料③ 材料④ 材料⑤	ウレタン系樹脂		
	Z	材料⑥ +補強材	アスファルト系		

試験は平成19年11月27日に実施し、天候は晴れ、気温20℃の条件において実施した。各材料を用いたときの仕上がり状態、補修時間、施工コストを比較し評価した。各材料の評価を表3に示す。

表3 コーティング材料評価

材料	色・外観	補修時間(1枚)	コスト(円/m)	総合評価
材料① アスファルト系	白色系 やや粗い	30分	100円程度	○
材料② ビニルエステル系	透明 良好	30分	250円程度	○
材料③ ウレタン系	白色系 粗い	40分	1000円程度	△
材料④ ウレタン系	黒色 良好	40分	2800円程度	×
材料⑤ ウレタン系	灰色系 粗い	40分	1000円程度	△
材料⑥ アスファルト系	黒色 良好	30分	400円程度	○
材料⑥ +補強材 アスファルト系	黒色 良好	30分	500円程度	○

各補修材の仕上がり状態については、色や表面性状から判断し、仕上がりの粗いものや色が黒色から遠いものを低評価とした。補修材料の手引きでは黒色系を使用することを標準としているためである。材料⑥による仕上がりを従来のCAモルタルと差異がないため高評価としている。補修時間は各材料とも大差ないが、ウレタン系樹脂が硬化時間で若干他に劣る。コストは材料④を除き1000円/m以下である。

以上の結果から試験敷設の材料を選別することとし、高評価の材料のうち、材料①は仕上がりに多少難があること、材料②は他で試験敷設を実施した実績があることから、材料⑥を今後の営業線試験敷設に用いることとした。

3. 従来の工法の改良

3.1 B・Cランク補修工法の改良

損傷の深いB、Cランク補修工法では、木枠をスラブ軌道側面周囲に配置し補修材料を注入する型枠工法が一般的である。通常、補修の際には損傷の最も大きな箇所にあわせて一様な奥行きでスラブ下面でん充層の掘削を行い、補修材料を注入する。この作業に多くの材料と時間を要している。

3.1.1 てん充層劣化傾向

平成18年度、寒冷地である仙台・北上両新幹線保線技術センター管内でスラブ劣化調査を実施した。この調査でCランク判定のスラブ240枚を対象に、レール締結装置位置ごとに損傷程度を計測した。図1にスラブ軌道をレール方向から見た際のレール締結装置位置ごと損傷の大きさのグラフを示す。縦軸は損傷大きさ、横軸は端部～第1締結～第8締結～端部の位置を示している。

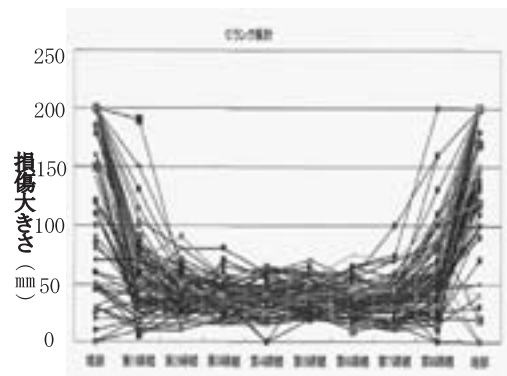


図1 てん充層損傷大きさ

端部～第1締結、第8締結～端部において損傷が200mmを超え、Cランク基準の100mmを大きく超えている。また中間部第2締結～第7締結間は損傷量が100mm未満で50mm程度の箇所が多いことが分かった。つまりCランク判定であっても一様に劣化しているわけではなく、中間部においてはBランク程度の損傷状況にあることが多い傾向にある。端部の損傷が大きくなるのは、温度差によって生じるスラブのそり現象が関連していると思われる。図2にスラブそり現象のイメージを示す。



図2 スラブそり現象

軌道スラブは、昼間は上に凸状となり、冬季夜間ではスラブ板は凹状になる。これはスラブ上面と下面の温度差によりたわみが発生するためである。凹状のときはスラブ端部がてん充層から剥離した状態となる。このときに端部に水が浸入するなどして劣化が進行する。

3.1.2 劣化傾向・構造解析結果を踏まえた補修

スラブ下面てん充層が劣化し、劣化状態を放置した場合のスラブ軌道に与える影響を調査するため、スラブ下面てん充層を欠損させた支持条件で有限要素法による構造解析を実施した。支持、不支持条件は前述した劣化調査結果に基づき、B、Cランクを想定し設定している。図3に解析上の支持条件、表4に解析条件を示す。

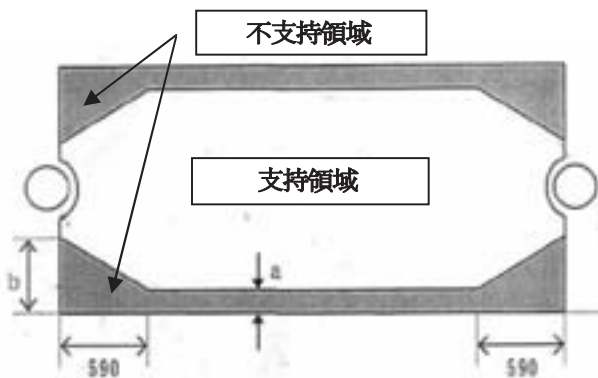


図3 解析上の支持条件

表4 解析条件と発生曲げ応力

ケース	a (mm)	b (mm)	劣化の大きさ	曲げ応力
1	50	50	小	特に変化無し
2	100	100	中	端部増大
3	100	150	大	端部増大
4	100	200	特大	端部増大

構造解析を実施したところ、ケースNo.1においては特に応力的な変化が見られないという結果となった。他の損傷を大きくしたケースにおいては端部のスラブ表面曲げ応力が増加するという結果となり、特に大きな損傷を放置すればスラブ自体に損傷が発生し得ることがわかった。ケースNo.1の結果から、スラブ下面てん充層に50mm程度の欠損が生じていても特に問題が見られなかったため、ここでも補修範囲の縮減が可能ではないかという結論に達した。

劣化調査や構造解析の結果を受けて、これまで最大損傷の大きさに合わせ一律な奥行きで補修を行っていた方法から補修範囲を縮減できると考え、損傷が大きい箇所

を中心に補修を行う方法を考案した。図4に軌道スラブを上部から見た場合の補修範囲を、従来の補修範囲と考案した補修範囲について示す。

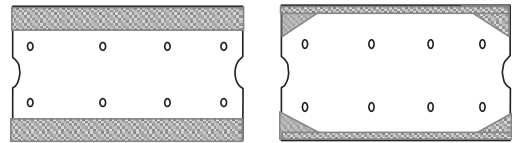


図4 従来の補修範囲（左）と考案した補修範囲（右）

考案した補修範囲では、劣化の激しい端部は従来の方法と同様に、損傷の大きくない中間部は劣化状況に応じて補修するということになる。この補修方法を採用すれば、型枠工法実施のための下面てん充層掘削量（CAモルタル層）が減少し、材料使用量が削減することができる。

また、下面てん充層欠損量が50mm程度ならばスラブに影響をおよぼさないということが構造解析により判明したため、下面の掘削を50mm、材料てん充を30mm実施しスラブ側面から20mmの領域のてん充を省略する改良型枠工法を提案する。図5に改良型枠工法の概要を示す。

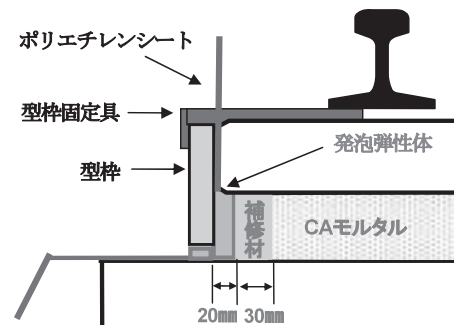


図5 改良型枠工法（スラブ直角方向断面図）

図5のようにこの20mmの領域には発泡弾性体（ウレタンスポンジ系）を型枠と補修材料との間に挟みこむこととした。

端部についてはスラブのそり現象で劣化が進む傾向にあるので、補修はスラブ端から1m程度の範囲をスラブ側面に合わせる従来並みの補修方法を取り、中間部3m間は図5のように補修材をスラブ側面までてん充させない工法とする。この工法を実施することにより、補修材料使用量が従来より20%程度削減できる。

3.2 ランク別補修工法のまとめ

これまで述べたとおり、Aランク補修工法としてコーティング工法を、B、Cランク補修には従来の型枠工法を改

良した工法を提案する。以下図6、図7にランク別補修工法案を示す。

(1) Aランク補修工法（コーティング工法）

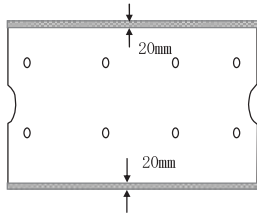


図6 コーティング工法補修例

- ・20mm下面掘削を行いコーティング材を塗布
- ・材料はアスファルト系が望ましい

(2) B・Cランク補修工法（型枠工法）一例

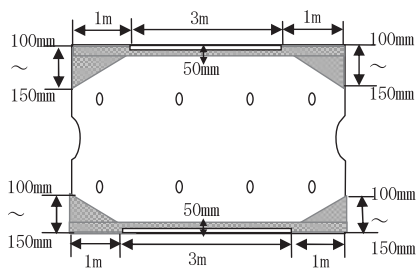


図7 B・Cランク補修工法例

- ・端部から1m間程度はCランク補修相当の掘削・注入
- ・中間部は損傷の程度により補修量を決定
- ・中間部損傷の程度が軽微ならコーティング工法も考慮
- ・材料は補修時期・補修箇所・補修量を考慮してアスファルト系や樹脂系で最適なものを選択する
- ・中間部で型枠工法を実施する場合、3m間は補修材料を側面から20mmの領域で省略するてん充を行う

4. 営業線試験敷設

研修センターで試験敷設を行った材料のうち、良好な結果が得られたものについて営業線試験敷設を実施した。コーティング材料から1種類、型枠工法用から新たな2種類の材料を使用した。これらの材料は耐凍害性を強化したアスファルト系、ビニルエステル系樹脂材料である。また、試験箇所はスラブ端にアオリ（バツキ）の見られる箇所であるため、アオリ対応材料も合わせて施工した。アオリ対応材料はすでに一部において試験的に導入されている合成樹脂系材料である。試験使用材料を表5に示す。

表5 営業線試験使用材料

補修ランク	メーカー	材料	掘削量
A	Z	アスファルト系コーティング材料	最大20mm
B・C	W	アスファルト系型枠工法用材料	最大100mm
B・C	X	ビニルエステル系樹脂型枠工法用材料	最大100mm
アオリ箇所	X	ビニルエステル系樹脂アオリ対応工法用材料	注入孔深さ

4.1 アオリ対応工法

アオリに対応する工法は、まずスラブ注入孔を掘削し、流動性の良い樹脂材料を上から注入する工法である。この樹脂がスラブ内部に浸透し間隙を埋めるものである。図8にスラブのアオリ、注入孔からの補修材料注入図を示す。

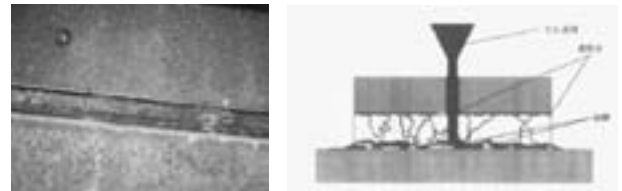


図8 アオリのあるスラブ（左）と材料注入方法

4.2 試験概要

試験実施日：平成19年12月4日 夜間

試験実施箇所：東北新幹線 下り線

130k275m～130k315m

材料：表5に示す4材料（すべて新規材料）

補修実施箇所はすべてCランク箇所、端部は最大100mm損傷、中間部は20mm～50mmの損傷であった。したがって各端部から1m間程度を型枠工法にて補修を行い、中間部は50mm損傷箇所をてん充量を削減した型枠工法、20mm損傷箇所をコーティング工法にて補修を実施した。図9に補修概要を示す。

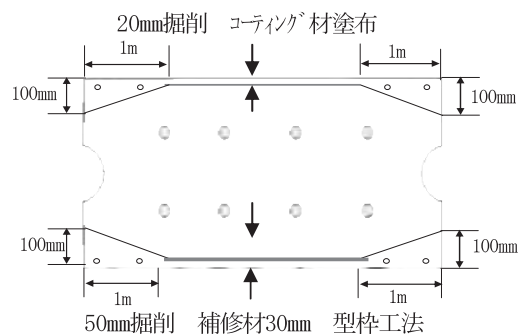


図9 補修概要

当日は気温が氷点下（-3℃）となり材料の硬化に不安があったが、施工試験は問題なく終了した。表6に補修材料別の作業時間比較を示す。

表6 補修材料別スラブ1枚あたり作業時間比較

	材料種別	作業時間
従来型枠	CAモルタル	160分（硬化時間120分）
コーティング材料	アスファルト系	95分（硬化時間50分）
新規型枠材料I	アスファルト系	127分（硬化時間60分）
新規型枠材料II	ビニルエステル系樹脂	113分（硬化時間50分）
アオリ用材料	ビニルエステル系樹脂	85分（硬化時間60分）

従来の型枠工法で補修材料にCAモルタルを使用した場合の補修時間と比較すると、補修作業に要する時間は多少増加するものの、材料の硬化時間が短縮できるために補修時間全体で従来よりも短い時間で補修が可能であることがわかった。また補修後硬度を管理する規格が存在するため硬化後の補修箇所硬度を計測したところ、規格値である50を上回っていた。表7、図10に各補修箇所硬度と補修後仕上がり状態を示す。各補修材料とも良好な仕上がり状態であり現在も良好に推移している。

表7 補修後 硬度

補修箇所	硬度	使用材料
①	87	型枠材料II
②	92	型枠材料II
③	67	型枠材料I
④	86	型枠材料II + コーティング
⑤	72	型枠材料I
⑥	93	型枠材料II
⑦	94	型枠材料II
⑧	94	型枠材料II + コーティング

※アオリ対応材料は全ての補修スラブに使用

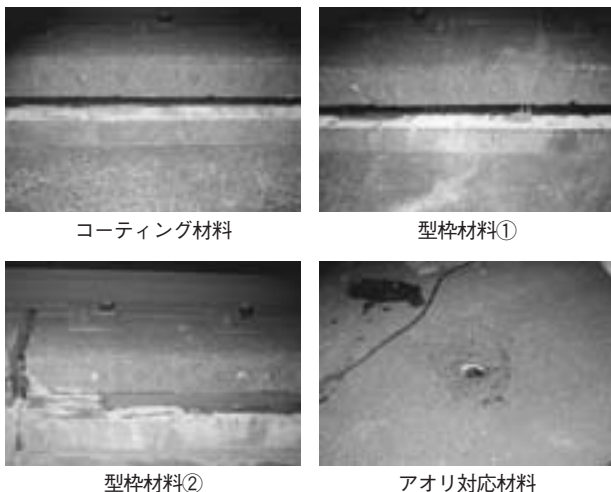


図10 各材料仕上がり状態

5. 補修材料の耐久性の検証

5.1 材料耐候性試験

コーティング材料はスラブ補修材料として新規に提案する材料である。試験敷設箇所の追跡調査を実施すれば耐久性の検証は可能であるが時間がかかる。したがってより早期に劣化傾向を把握するために耐候性試験を実施することとした。そこでCAモルタルブロックにコーティング材料を塗布した試験体を作成し、耐候性試験機を使用し短期間で耐久性を検証することとした。また、施工試験で使用したB、Cランク用補修材料も同サイズの硬化物を作成し試験に加えている。図11にCAモルタルの試験体およびコーティング材料をCAモルタル試験体に塗布した状態を示す。

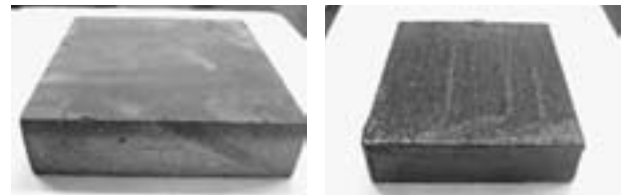


図11 CAモルタル（左）とコーティング材料（右）

試験体はすべて100mm×100mm×25mmで統一し各3個を用意し、種別は表8の通りとした。コーティング材料では営業線試験敷設に使用した材料、研修センター試験で用いた材料①、材料②を用意し、型枠工法用補修材料の材料Iおよび材料IIとCAモルタルブロックを用意している。なお色の調整が必要であった材料は調整を完了している。

表8 耐候性試験 試験体

	材料種別	工法
材料①	アスファルト系	コーティング
材料②	ビニルエステル樹脂系	コーティング
材料⑥	アスファルト系	コーティング
材料I	アスファルト系	型枠
材料II	ビニルエステル樹脂系	型枠
CAモルタル	アスファルト系	型枠

使用した耐候性試験機では-30℃から+30℃までの温度変化および降雨（10分間、100mm/h）、日照（50分間、800 kcal/m²/h）の条件を与えることができる。常温から-30℃に下降、そこから常温に上昇するまでを1サイクルとし、1日の間に2サイクルを行うこととした。試験サイクル概要を図12に示す。

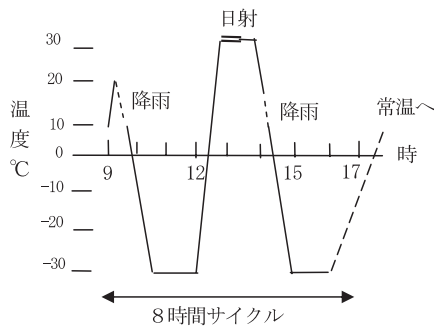


図12 試験サイクル

このサイクル試験を30日間行くと、盛岡付近の約6年分の凍結融解現象に相当する。試験後のコーティング材料試験体の状態を表9に示す。

表9 耐候性試験結果

材料種別	材料種別	外観状態
コーティング材料①	アスファルト系	異常なし
コーティング材料②	ビニルエステル系樹脂	一部割れ発生
コーティング材料⑥	アスファルト系	異常なし
型枠用材料Ⅰ	アスファルト系	角が脆く変化
型枠用材料Ⅱ	ビニルエステル系樹脂	異常なし
CAモルタル	アスファルト系	角が脆く変化

コーティング材料においては材料①・⑥のアスファルト系材料に白華現象（材料中に含まれるアルカリ成分が大气中の二酸化炭素と結合して表面に白く現れる現象、一般的に劣化とは見なされない）が見られるものの大きな変化が見られず、ビニルエステル系樹脂である材料②には一部割れおよび水の浸透が確認された。図13に試験後の試験体を示す。

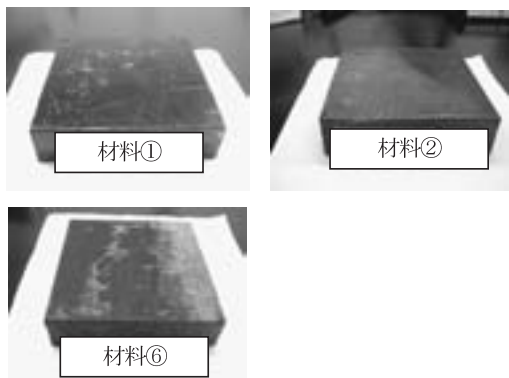


図13 コーティング材料試験後

B・Cランク用各材料試験体においてはビニルエステル系材料にまったく劣化が見られないという結果となった。アスファルト系の材料Ⅰ、CAモルタルブロックにはコーティング材料同様に白華現象が見られる。それに加え、試験体の角部分が脆くなった（図14）。

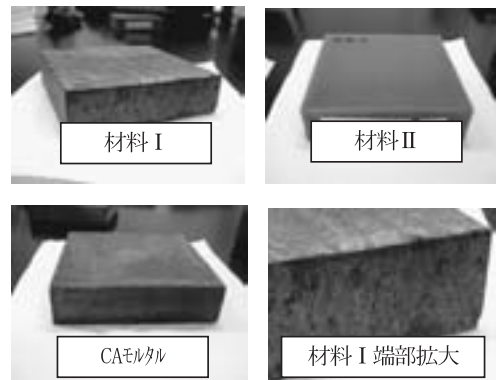


図14 B、Cランク用補修材料試験体試験後

従来よりアスファルト系の材料は凍結融解に対する弱さが指摘されているが、このような劣化傾向を実際のスラブ軌道に置き換えて考えると、てん充層とスラブの縁切れにつながるものと考えられる。6年分の凍結融解を模擬したこの試験では大きな変化には至らない結果となったが、アスファルト系材料の劣化兆候が確認できた。

5.2 耐候性試験結果からのまとめ

コーティング材料では、アスファルト系2材料がコーティング性能に優れ、補修材料として使用しても数年は問題ないという結果となった。新規型枠工法用材料は各材料とも外観に大きな問題は発生せず、特に樹脂材料の耐久性の高さが確認できた。試験で使用したコーティング材料と新規型枠てん充材料を新規補修材料として提案する。

6. おわりに

てん充層補修方法はこれまでさまざまな方法が存在したが、紹介した補修工法は劣化状況に応じて効率的な補修が可能である。ランク別補修工法が確立し、材料費のコストダウンに貢献できることを期待している。

参考文献

- 1) 安藤他：スラブ軌道最適保全方法の開発、研究開発テーマ報告、No.Q71018、1989.3
- 2) 中村庄衛：材料耐候性試験装置の構成と試験、鉄道技術研究所速報、No.B-84-9、1984.6
- 3) 安部他：スラブ軌道補修部の耐候性試験、鉄道技術研究所速報、No.A-87-97、1987.3
- 4) 鈴木他：スラブ軌道てん充層等補修材の開発、鉄道総研報告、Vol.12、No.10、1998.10