

報告 既設鋼床版 U リブ内への軽量モルタル充填性向上に関する検討

柴垣 昌範*1・中原 和彦*2・丹波 寛夫*3・杉山 裕樹*4

要旨: 既設鋼床版の補強・予防保全対策工として、U リブ内部に軽量モルタルを充填し床版剛性を改善する工法において、その軽量モルタルの充填性能について検討した事例はほとんどない。本報告では、実物大模擬型枠を用いた充填試験を実施し、充填プロセスの調査を行い、空隙発生の要因を明らかにすることで充填率向上のための適正な充填モルタルの材料設計および施工方法を検討した。その結果、従来の流動性の高い軽量充填モルタルから高粘性型の軽量充填モルタルとし、片押しにより先流れ現象を抑止させることで U リブ内部の軽量充填モルタルが一体化され内部に未充填箇所が少ないことが確認された。

キーワード: U リブ, 充填モルタル, 高粘性, 充填性, 先流れ現象

1. はじめに

既設鋼床版は、デッキプレート上のアスファルト舗装を介し、自動車の輪荷重が直接載せられるとともにその繰り返し載荷が極めて多い。そのため、輪荷重によるデッキプレート等の局所的な変形に伴い、デッキプレートとUリブの部材交差部等において局所的に大きな応力が繰り返し発生し、近年、その疲労損傷が大きな問題となっている。また、施工に伴い必要となる交通規制や通行止めは渋滞発生の要因となり、社会的損失にもつながるため、交通規制を必要としない鋼床版下面からの対策工法が求められている。

この疲労損傷対策として、阪神高速道路では高速道路上の交通規制を必要としない、デッキプレート下面のみで床版剛性を改善できる手法として、U リブ間に逆U型の鋼板を添接した上で、U リブ内部に軽量モルタルを充填する「鋼板補強モルタル充填併用工法」¹⁾が検討されている。

このような既設の鋼床版Uリブの中空部材の補強として使用される充填モルタル²⁾は、補強に伴う死荷重増加を極力抑制するために軽量のもものが好ましく無収縮性、材料分離抵抗性、強度発現性の諸物性はもちろんのこと、特に輪荷重によるデッキプレート等の局所的な変形を抑制することを目的としているため、充填性能に優れたものが要求される。さらには、既設鋼床版Uリブ内のモルタル状況を目視で確認できないため、充填状態の確実性が求められる。一方で、もともと既設鋼床版は、Uリブ内にモルタル充填を想定していないために、Uリブ内に十分な勾配がなく、且つモルタルや残留空気の排出口を十分な数或いは位置に設置できないことが多い。そのため、充填モルタルの材料設計と施工方法が充填性能に大

きく影響を及ぼすが、実物大実験等により充填モルタルの充填性能を評価した事例はほとんどない。

本報告では、実物大模擬型枠を用いた充填試験を実施し、充填プロセスの調査を行い、空隙発生の要因を明らかにすることで充填率向上のための適正な充填モルタルの材料設計および施工方法を検討した。

2. 実験概要

2.1 使用材料と配合

充填モルタルの使用材料を表-1 に、充填モルタルの配合を表-2 に示す。本実験で使用する充填モルタルは、軽量で且つ無収縮性、材料分離抵抗性、強度発現性を考

表-1 使用材料

使用材料	記号	備考
セメント	C	普通および早強ポルトランドセメント
高性能減水剤	A	メラミンスルホン酸系
膨張材	E	石灰系膨張材
増粘剤	V	水溶性セルロースエーテル
発泡剤	F	金属アルミニウム粉末
細骨材	S	無機質軽量骨材 (真珠岩系パーライト)
水	W	上水

表-2 充填モルタルの配合

充填モルタル	配合 (%)					
	水セメント比 W/C	砂セメント比 S/C	減水剤添加率 A/C	膨張材添加率 E/C	増粘剤添加率 V/C	発泡剤添加率 F/C
高流動性型	78	17	0.22	1.2	0.21	0.004
高粘性型 1	66	17	0.12	1.2	0.18	0.001
高粘性型 2	70	17	0.12	1.2	0.18	0.001

*1 太平洋マテリアル(株) 開発研究所 主任研究員 (正会員)

*2 太平洋マテリアル(株) 開発研究所 研究員 修士 (工学)

*3 財団法人阪神高速道路管理技術センター 企画研究部 修士 (工学)

*4 阪神高速道路(株) 建設事業本部建設技術課 修士 (工学)

表-3 充填モルタルの諸物性

試験項目	試験方法	充填モルタルの種類			
		高流動性型	高粘性型 1	高粘性型 2	
環境温度 (°C)		19.0	19.0	19.0	
練り水量 (kg/袋)		6.5	5.5	5.8	
フレッシュ 性状	J ₁₄ 漏斗流下時間 (秒)	JSCE-F541	9.5	閉塞	閉塞
	テーブルフロー (mm)	JIS R 5201	196	125	150
	単位容積質量(g/cm ³)	JISA1171	1.311	1.273	1.284
	ブリーディング(%)	JIS A 1123	0.0	0.0	0.0
硬化性状	膨張収縮率(%)	JSCE-F542	0.26	0.23	0.23
	材齢 28 日圧縮強度 (N/mm ²)	JIS A 1108	13.1	14.3	14.4

慮した材料設計とし、リボンミキサーで混合し、各 10kg/袋のプレミックス材を作製した。プレミックス材は、Uリブ内部におけるモルタル充填性能について、充填モルタルの流動性の及ぼす影響を確認するため、高流動性型 1 種類、高粘性型 2 種類の合計 3 種類とした。

充填モルタルの材料設計は、各物性が以下に示す設計となるように調整した。表-3 に充填モルタルの諸物性を示す。

(1)流動性

高流動性型は一般的な無収縮モルタル³⁾と同様に J₁₄漏斗流下時間 10 秒以下を目安とし、高粘性型は J₁₄漏斗流下時間が閉塞（落下しない）し、且つ JIS R 5201 に規定されるフローコーンの引抜き時のフロー値で 120～170mm を目安とした。

(2)膨張収縮率

過度な膨張はモルタルの強度低下や材料分離に起因するため、膨張収縮率の設定は一般的な無収縮モルタルと同等とし、収縮を示さない程度とした。

(3)単位容積質量

市販の軽量無収縮モルタルと同等とし、1.4g/cm³ 未満とした。

(4)圧縮強度

タイヤ 1 本の設置面積を 400cm² (20×20cm) と仮定すると、タイヤ 1 本あたり 20t 以上の載荷荷重に耐えられるように、圧縮強度は 5N/mm² 以上とした。

2.2 実物大模擬型枠を用いた充填試験

[ステップ 1] 2m 小型模擬型枠試験

ステップ 1 では、充填プロセスの観察を主眼として長さ 2m の小型模擬型枠を用い、3 種類全ての充填モルタルを注入し、充填モルタルの配合および注入流量の影響、注入ホースの差し込み位置（以下、注入位置）の影響を確認することを目的に充填性能を評価した。なお、注入位置については、従来は U リブの下面に合わせた下からの注入であったが、注入位置の影響を確認するため、U リブの上面および下面の 2 水準とした。

小型模擬型枠試験の実験水準を表-4 に、小型模擬型

表-4 小型模擬型枠試験の実験水準

水準	横断勾配	縦断勾配	注入ホース差込位置	充填モルタルの材料設計	充填モルタルの流量
1	0.0%	0.0%	上	高流動性型	300/分
2	0.0%	0.0%	上	高粘性型 1	300/分
3	0.0%	0.0%	下	高粘性型 2	300/分
4	0.0%	0.0%	上	高流動性型	150/分
5	0.0%	0.0%	上	高粘性型 1	150/分
6	0.0%	0.0%	下	高粘性型 2	150/分

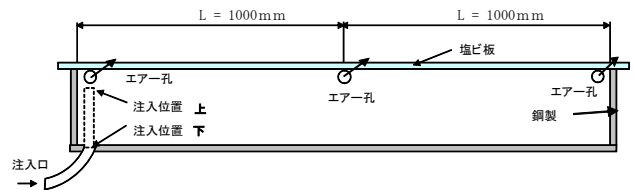


図-1 小型模擬型枠試験体の側面図

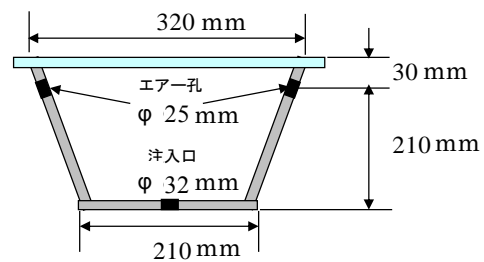


図-2 小型模擬型枠試験体の断面図

枠試験体の側面図を図-1 に、小型模擬型枠試験体の断面図を図-2 に示す。高粘性型 2 の充填モルタルを用いた水準 3 および 6 については、注入位置を出来るだけ U リブの上面に近づけることにより U リブ上面付近の充填性が向上することを期待し、U リブの上面に合わせた位置とした。その他の水準については、従来どおり U リブの下面に合わせた位置とした。エアーク（以下、空気孔）は試験体の両端部と中央部の左右対称に計 6 箇所に設置し、注入孔や空気孔にはソケットおよびボールバル

ブを用いて設置した。型枠の材質は鋼製とし、充填状況を確認するため上面は全て透明塩化ビニル板（以下、透明塩ビ板）とした。

実構造物では全面を鋼板で密閉されているが、本試験では充填性を目視で確認するため、透明塩ビ板を使用している。そのため、コンプレッサーを用い、注入口付近に圧力計を設置し模擬型枠内の圧力を測定し、0.05MPaまで加圧後の圧力変動を確認し、事前に気密性が確保されていることを確認した。

〔ステップ2〕10m 大型模擬型枠試験

ステップ2では、実構造物を模擬した型枠とするため模擬型枠の長さは既設鋼床版のダイヤフラムのピッチ（約10m）に合わせた延長の10mとし、縦断および横断勾配を設けた模擬型枠とした。注入口位置は、小型模擬型枠同様にUリブの上面および下面の2水準とした。

大型模擬型枠試験の実験水準を表-5に、大型模擬型枠試験体の側面図を図-3に、大型模擬型枠試験体の断面図を図-4に示す。空気孔は、設置間隔を5m間隔とし、左右対称に計6ヶ所設置した。また、注入口や空気孔の設置は、実現場で容易に設置可能な方法を検討し、市販のビニル製ホースを用い、ホースの周囲にシーリング材（二液常温硬化型エポキシ系接着剤）を塗布して、漏れ止め処置を施した。空気孔の大きさも内径25mmから10mmと小さくした。型枠の材質は、小型模擬型枠と同様に鋼製とした。10m 模擬型枠は、2mの模擬型枠より容積も大きく、かかる圧力が大きくなると想定されるので気密性を確保するため、中央の空気孔付近と注入口と反対の端部の空気孔付近の上面のみを透明塩ビ板とした。また、小型模擬型枠と同様に事前に気密性が確保されていることを確認した。充填モルタルは、ステップ1の充填性結果より充填モルタルの先流れ現象を抑止し、充填性を向上させる観点で高粘性型2の配合を用い、充填性能を評価した。

2.3 練混ぜ及び充填方法

練混ぜは、グラウトミキサ（容量：100L，回転数：1000rpm）を用い5袋練りとし、所定水量を計量後、ミキサを回転させながら徐々に材料を投入した。材料投入開始から2分間連続攪拌したものを試験試料とした。

モルタルの注入方法は、テーパ管+1.5インチ耐圧ホース10mを接続し、スクイズ式のモルタルポンプ（動力：3.7kW，200V）を用いて片押しにより注入した。また、ポンプ出口および注入口に圧力計を設置した。モルタルの注入に先立ち、圧送ポンプの閉塞事故を防止するため圧送ホース内に適量の水及びセメントペーストを通した。練混ぜたモルタルを圧送ポンプのホッパー内に投入し、ポンプを始動させてホースの先端より正常なモルタルが流出したことを確認の上、注入流量の計測を行い、

各水準の注入流量に調整した。圧送は、型枠に設置した注入口にホースを接続して連続圧送を行った。注入は、模擬型枠の端部（上面又は下面）から開始した。充填後、空気孔からモルタルをオーバーフローさせ、目視にて空気の巻き込みのないモルタルの流出を確認し、空気孔を封栓した。最終空気孔を封栓した後、ポンプを一時停止し、ポンプを再稼働し、注入口に設置した圧力計で残圧

表-5 大型模擬型枠試験の実験水準

水準	横断勾配	縦断勾配	注入ホース差込位置	充填モルタルの材料設計	充填モルタルの流量
7	+2.0%	+1.0%	上	高粘性型2	20ℓ/分
8	+2.0%	+1.0%	下	高粘性型2	20ℓ/分

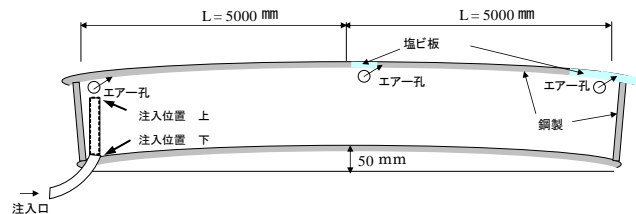


図-3 大型模擬型枠試験体の側面図

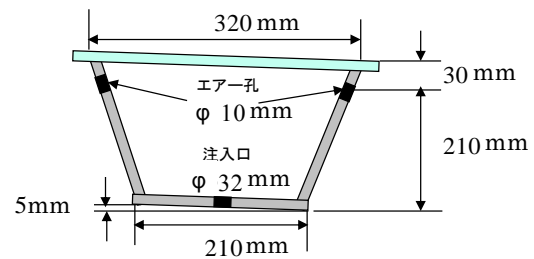


図-4 大型模擬型枠試験体の断面図

表-6 充填性試験結果（水準1~3）

水準	先流れ現象の有無	50mm以上のエア溜り有無	充填率 (%)
1	有り	多く有り	90.2
2	無し	多く有り	89.5
3	無し	多く有り	89.5



図-5 エア溜りの発生状況

が確認できる程度加圧して注入口を封鎖し注入完了とした。

2.4 充填性能の評価方法

注入開始から注入完了まで、型枠の上面（透明塩ビ板）を観察し、充填モルタルの先流れ現象の有無、エア溜りの発生状況を確認した。また、充填から材齢7日後に充填型枠上面を解体し、充填状況の確認と充填率を測定した。充填率は、型枠上面に確認された1mm以上の空隙（気泡及びボイド等）をトレースした未充填面積（cm²）を算出し、その数値を型枠上面における全体の表面積から差し引き、全体表面積で除した値として定義した。

3. 実験結果および考察

〔ステップ1〕2m小型模擬型枠試験結果

3.1 充填モルタルの注入流量の影響

充填モルタルの注入流量を30 l/分とした水準1～3の充填性試験結果を表-6に示す。充填モルタルの粘性に関係なく何れの水準も同様な傾向となり、充填直後はエア溜りが無く良好な仕上がりであったが、図-5に示すとおり、充填後3分経過したあたりから50mm以上の大きなエア溜りが型枠上面に多く発生し、充填性が低い結果となった。これは注入流量が多すぎたため、ポンプの巻き込みエアが多量に発生し、充填直後はモルタルに内包されていたが、時間経過とともに型枠上面に浮上したと推察される。

次に注入流量を約半分（15 l/分）に落とした水準4～6の充填モルタルの充填性試験結果を表-7に示す。高流動性型の充填モルタルである水準4は、充填型枠の全域に渡り、充填型枠中央付近の型枠上面にエア溜りが確認された（図-6）。要因として、充填モルタルの粘性が低いため、図-7が示すように先流れ現象が発生し、流

表-7 充填性試験結果（水準4～6）

水準	先流れ現象の有無	50mm以上のエア溜り有無	充填率（%）
4	有り	有り	95.7
5	無し	有り	95.4
6	無し	殆ど無し	97.8

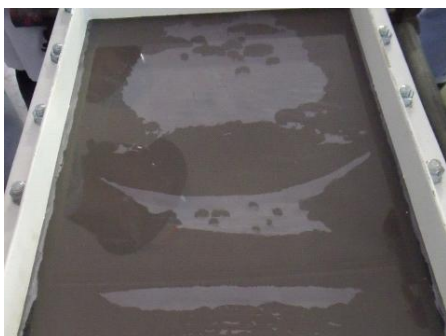


図-6 エア溜りの発生状況（フレッシュ時）

動先端側（排出側）のモルタルが先に上面に到達し、間に挟まれたエアの抜けが阻害されているためと考えられる。



図-7 充填モルタルの先流れ現象（フレッシュ時）

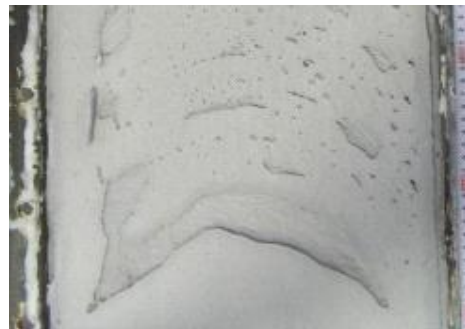


図-8 充填モルタルの三日月状のエア溜り



図-9 層状となった充填モルタル



図-10 円形のエアが発生した充填モルタル

既設鋼床版では排出口を十分な数或いは位置に設置できない現状がある。そのため、充填モルタルに先流れ現象が生じると、低粘性 PC グラウトの先流れ現象と同様に、先流れにより生じた残留空気の抜け道がなくなり充填性能に大きく影響を及ぼすと考えられる⁴⁾。

3.2 充填モルタルの粘性および注入口位置の影響

J₁₄ 漏斗で閉塞を生じる高粘性型の充填モルタルである高粘性型 1 (フロー値 125mm) の充填モルタルを用いた水準 5 は、注入口から 1000mm 以降に三日月状のエア溜りが型枠上面に確認された (図-8)。要因として、材料の粘性が高く、且つ注入口を上を設置したため、注入中の充填モルタルが図-9 に示すとおり層状になり、巻き込んだエアが型枠上面に三日月状に発生したと考えられる。注入口から 1000mm までは空隙が殆どなく良好に充填されており、充填モルタルの粘性を高めることにより、先流れ現象を抑止できる効果が確認された。

高粘性型 1 の充填モルタルより、ややフロー値を大きくした高粘性型 2 (フロー値 150mm) の充填モルタルを用いた水準 3 は、水準 2 で確認された三日月状のエア溜りも無く、先流れを抑止できた。但し、注入口を下に設置したため、三日月状のエア溜りは抑止されたものの、ポンプの巻き込みエアがモルタルに内包され、打設後、充填型枠の中央付近に円形のエアとしてやや発生したと考えられる (図-10)。注入口位置を上にした場合、ポンプの巻き込みエアは、注入口から排出される際に破泡するために、水準 2 では円形のエア溜りが殆ど発生しなかったと考えられる。充填率は、水準 1 が 95.7%、水準 2 が 95.4%、水準 3 が 97.8% であり、高粘性型 2 の充填モルタルを用い、注入口位置を下に設置した水準 3 が最も高い充填率となった。

[ステップ 2] 10m 大型模擬型枠試験結果

3.3 高粘性充填モルタルの充填性

大型模擬型枠試験では、実現場での施工を勘案し出来るだけ短時間で充填出来るように充填モルタルの注入流量を 15 l/分から 20 l/分に増量して実施した。

高粘性型 2 の配合を使用した充填モルタルは、縦断および横断勾配を設けた 10m の大型模擬型枠においても水準 7 および 8 とともに小型模擬型枠試験結果と同様に先流れ現象は殆ど認められず、図-11 に示すように片押しにより全断面で充填していくのが確認された。

注入口位置を上を設置し注入した水準 7 は、1~1.5m 付近と 3.5~4m 付近に三日月状のエア溜りと 0~5m に渡って U リブ端部にも未充填部分 (図-12) がやや確認された。要因としては、上り勾配の区間では材料の粘性がやや高いため、先流れが抑止されるものの、モルタルが層状になりエアを巻き込み、10mm と小さくした空気孔からのエアの抜けが阻害されたと考えられる。一方、中

表-8 充填性試験結果 (水準 7~8)

水準	先流れ現象の有無	50mm 以上のエア溜り有無	充填率 (%)
7	無し	殆ど無し	97.5
8	無し	殆ど無し	98.5

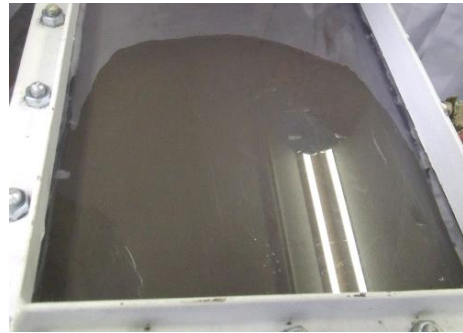


図-11 全断面による注入状況 (フレッシュ時)



図-12 U リブ端部の未充填状況 (上り区間)



図-13 良好な充填状況 (下り区間)



図-14 良好な充填状況

間地点から排出口までの下り勾配の区間では、図-13に示すとおり三日月状のエア溜りも無く、良好な充填状況が確認された。水準7の充填率は、0～5mの上り区間が95.9%、5～10mの下り区間が99.0%、全体で97.5%の高い充填率を確認した。

注入口位置を下に設置し注入した水準8は、水準7の上り勾配部分で確認された三日月状のエア溜りやUリブ端部の未充填もなく、良好な充填状況（図-14）が確認された。注入口位置を下に設けたため、ポンプの巻き込みと思われる円形状のエアが3.3～4.5m付近の試験体中央付近と中間地点以降の下り勾配部分にやや確認されたものの、総じて注入口位置を上にした水準7に比べ、良好な充填状況が確認された。水準8の充填率は、0～5mの上り区間が99.1%、5～10mの下り区間が97.9%、全体で98.5%であり、水準7の97.5%よりもさらに充填率が高いことが確認された。

本検討により、軽量で且つ無収縮性、材料分離抵抗性、強度発現性を考慮した材料設計としたプレミックス材を、粘性をある程度高めた充填モルタルとして使用することにより、先流れ現象を抑止し、全断面で注入し充填性能を向上できることを確認した。その結果、既設の鋼床版Uリブの中空部材の補強として使用される充填モルタルの施工時の品質管理目標値としては、注入流量15～20l/分、モルタルフロー130～170mmにすることが好ましいと考えられる。

注入口位置については、注入口位置を上にした場合にはポンプの巻き込みエアが注入口から排出される際に破泡され抑制できると考えられるものの、本試験で検討した粘性をある程度高めた充填モルタルを使用した場合には、型枠上面にモルタルが層状となり三日月状のエア溜りが発生する可能性がある。そのため、充填モルタルの粘性や注入流量、充填型枠の形状などの僅かな違いが充填性能に影響を及ぼすことが示唆され、充填モルタルの粘性、実構造物の長さおよび形状などに合わせて最適化を図る必要があり、今後の課題としたい。

4. まとめ

鋼床版Uリブの実物大模擬型枠を用いた充填性試験を実施し、軽量充填モルタルの充填性能を検討した結果、以下の知見が得られた。

- (1) 充填モルタルは、モルタルフロー値を130～170mm程度に粘性を高め、注入流量を15～20l/分にする事により、全断面で注入され先流れが抑止され、充填性が向上することが確認された。
- (2) 充填モルタルは、粘性を高め過ぎる（モルタルフロー値125mm以下）と、巻き込みエアの抜けが悪くなり、充填完了後にその巻き込みエアが上面に浮き出し、充填性に影響を及ぼすことが確認された。
- (3) 充填モルタルのモルタルフロー値を196mmと高流動性にした場合、先流れが発生し排出側のモルタルが先に上面に到達し、エア溜りが発生する可能性があることが確認された。
- (4) 注入流量が多すぎると、充填モルタルの粘性に関係なく巻き込みエアの抜けが悪くなり、充填後にエア溜りが発生した。

参考文献

- 1) 田畑晶子，青木康素，服部雅史，大西弘志，松井繁之：Uリブ内面モルタル充填による既設鋼床版の疲労耐久性向上検討，構造工学論文集，Vol.56A，pp.1356-1369，2010.3.
- 2) 青木康素，田畑晶子，服部雅史，大西弘志，松井繁之：Uリブ内面モルタル充填による既設鋼床版の疲労耐久性向上検討（静的載荷試験），土木学会第63回年次学術講演会，pp.437-438，2008.9.
- 3) 東日本高速道路株式会社，中日本高速道路株式会社，西日本高速道路株式会社：構造物施工管理要領，pp.223-225，2012.7
- 4) 宮本一成，勝木太，矢島哲司，魚本健人：PCグラウトの充填性に影響を与える各種要因に与える基礎的研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.25，No.1，pp.1103-1108，2003