

氷点下でも施工可能な変性ポリウレア樹脂を用いた新規はく落防止工法

堀井 久一¹・濱口 敬三²

¹コニシ株式会社 浦和研究所 研究開発第4部 (〒338-0832埼玉県さいたま市桜区西堀5-3-35)

²コニシ株式会社 大阪本社 土木開発事業部 (〒541-0045大阪府大阪市中央区道修町1-7-1)

コンクリート片のはく落防止工法で使用されているエポキシ樹脂系接着剤は、硬質で高強度な硬化物のため、優れたはく落防止性能が確認されているが、施工可能温度が5℃以上に制限されており、低温時の施工管理が煩雑になっている。最近では、吹き付けのポリウレア樹脂によるはく落防止工法も開発され、冬季施工が可能であるが、大がかりな専用機材が必要であり、幅広く使用できるものではない。これらの従来工法の施工環境温度に関する課題を、変性ポリウレア樹脂を繊維シートの含浸接着樹脂に用いることにより解決できることを確認したので、その性能評価結果について報告する。

キーワード 新技術, はく落防止, コンクリート保護

1. はじめに

橋梁やトンネルなどのコンクリート構造物は、塩分や二酸化炭素などの環境的な劣化因子や交通荷重や地震などの外力により、ひび割れやはく落などの劣化を受けている。それらの劣化現象は、耐荷性能や耐久性といった構造物の基本性能に影響を与えるだけでなく、更なる劣化進行を加速するといった問題も抱えている。また、コンクリート片のはく落は、第三者影響度が高いため、その防止を目的に、はく落防止工法が行われている。

従来のはく落防止工法では、ガラス繊維クロスをエポキシ樹脂系接着剤で含浸接着することが一般的である。エポキシ樹脂系接着剤は、硬質で高強度な硬化物物性を有しており、優れたはく落防止性能が確認されているが、施工可能温度が5℃以上に制限されており、低温時の施工管理が煩雑になっている。5℃を下回れば、施工中止となり、冬季は常に工事が遅れることが懸念されている。

最近では、吹き付けタイプのポリウレア樹脂によるはく落防止工法も開発されており、冬季施工も可能であるが、大がかりな専用機材が必要となっており、誰でもが幅広く使用できるものではない。

従来工法のこのような施工環境温度に関する課題に対して、幅広い温度範囲で施工可能な含浸接着樹脂に低温硬化性に優れた変性ポリウレア樹脂を利用した新規はく落防止工法を開発した。ここでは、新工法のはく落防止工法として補修効果や作業性、耐久性について実施した各種試験結果について報告する。

2. 新規はく落防止工法の概要

(1) 使用材料と施工仕様

新規はく落防止工法(ボンドKEEPメンテ工法 VM-3)の使用材料と施工仕様を表-1に示す。

表-1 ボンドKEEPメンテ工法 VM-3の使用材料

材料種	材料名(配合比)	主成分	標準塗布量	塗布方法
プライマー	ボンドVMプライマー(1液型)	無溶剤形エポキシ樹脂	0.10 kg/m ²	ローラー 刷毛
含浸接着樹脂	ボンドVM-3中塗り(主剤:硬化剤=5:4)	無溶剤形変性ポリウレア樹脂	下塗り:0.50 kg/m ² 上塗り:0.70 kg/m ²	コテ ヘラ
繊維シート	トリネオTSS-1810Y	3軸ビニロン繊維	1.1m/m ²	—
仕上げ材	ボンドUコートF(主剤:硬化剤=8:1)	溶剤形アクリルウレタン樹脂	0.15 kg/m ²	ローラー 刷毛

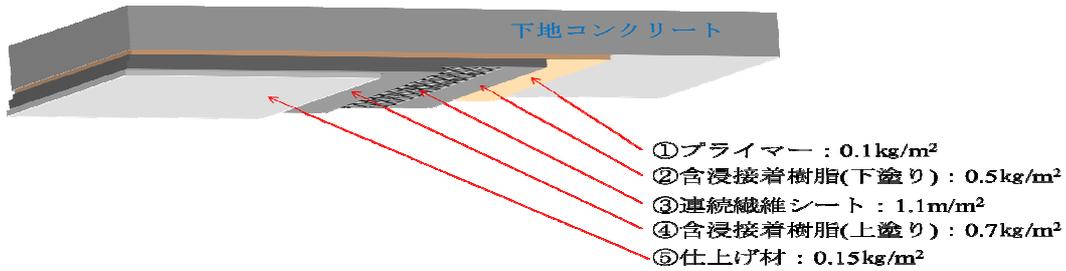


図-1 施工仕様の断面図

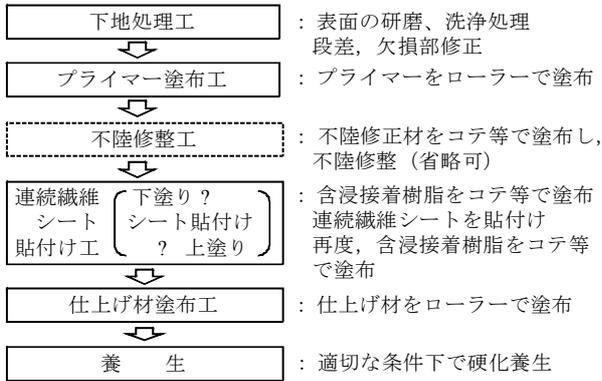


図-2 施工フロー

表-2 押し抜き試験の試験条件

項目	内容
下地条件	JIS A 5372付属書5に規定する上ぶた式U形側溝(ふた)の1種呼び名300(400×600×60mm) (以下「U形ふた」という)裏面中央部をφ100mmの形状でコア抜き
作製前条件	ディスクサンダーにて表面処理 23℃水中に24時間以上浸漬
試験体作製条件	23℃雰囲気下 表面の水分を拭き取り、5分以内にプライマーを塗布
養生条件	23℃7日、半水中浸漬
試験温度	-30℃, 23℃, または60℃

また、施工仕様の断面図を図-1に示す。

(2) 施工手順

本工法の施工手順をフローにて図-2に示す。

(3) 新規はく落防止工法の特長

本工法では、ポリイソシアネートと変性ポリアミンを反応硬化させる変性ポリウレア樹脂を、ビニロン製3軸ネットの含浸接着剤に用いていることが特徴の一つである。一般的に、ポリウレア樹脂は、イソシアネートとポリアミンの化学反応が速すぎるためにコテ作業可能な硬化速度に設計できないので、専用機械による塗布となる。大掛かりな設備が必要となること、また、その極めて速い硬化性が原因となり、所定の接着性や物性が発揮できないことが問題となっている。そのため、著者らは、イソシアネートとの反応性を制御し、一定の可使用時間を確保しつつ、低温硬化性を保持するような化学構造に変性した変性ポリアミンを開発した。

本工法の含浸接着樹脂は、ネットを含浸接着するのに十分な可使用時間を有しながら、低温硬化性が優れているという特長を有しており、-5℃から40℃という幅広い温度範囲で施工可能である。また、従来工法のエポキシ樹脂に比べると、温度による作業性の影響が少なく、広い温度範囲で優れたコテ作業性を有している。

プライマーに1液湿気硬化型含浸補強用プライマーを使用していることも特徴の一つである。はく落防止工法におけるプライマーの主目的は、下地と含浸接着樹脂の接着性を確保することと水分など外的劣化因子の移動を妨ぐことである。本工法における含浸補強用プライマー

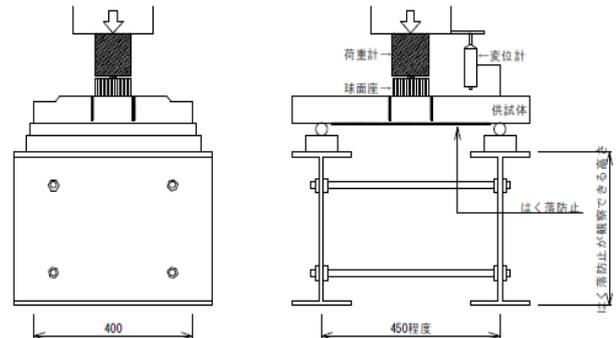


図-3 試験方法の模式図

は、下地のコンクリート表面の脆弱部に含浸し、補強することが期待できる材料¹⁾であり、従来プライマーの性能に加えて、脆弱層が低減されることによる接着力の向上と含浸補強層にも外的劣化因子の侵入抑制の働きがあることが特徴である。

本工法における特徴について、次章にて各種性能確認試験の試験結果をもって、説明する。

3. 性能確認試験

(1) 幅広い温度範囲でのはく落防止性能の確認

はく落防止性能について、JSCE-K 533に準拠し、押し抜き試験を実施した。試験温度条件としては、-30～60℃の温度範囲で性能確認を行った。試験条件を表-2に、試験方法の模式図を図-3に示す。

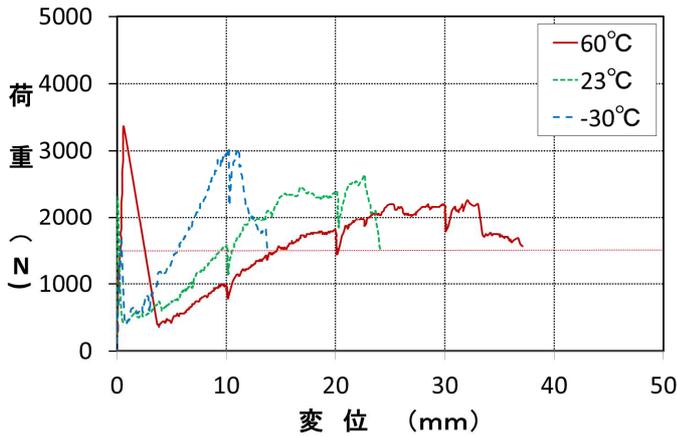


図4 試験結果 (温度と押し抜き強度の関係)



写真-1 試験状況例 (60°C・10mm変位時)

表-3 低温環境下の試験条件

項目	内容
下地条件	U形ふた 裏面中央部をφ100mmの形状でコア抜き
作製前条件	ディスクサンダーにて表面処理 5°C : 5°C水中に24時間以上浸漬 -5°C : -5°Cに24時間以上
試験体作製条件	5°C : 5°C雰囲気下で、表面の水分を拭き取り、5分以内にプライマーを塗布 -5°C : -5°C雰囲気下
養生条件	5°C : 5°C7日, 半水中浸漬 -5°C : -5°C14日
試験温度	5°C : 5°C -5°C : -5°C

各試験条件の試験結果を図-4に、試験温度60°Cの試験中の状況を写真-1に示す。

図-4から、いずれの試験条件においても、最大強度が1.5kN以上となることが確認できた。一般的に、有機系材料は高温になると柔らかくなり、低温になると硬くなる傾向がある。つまり、低温条件下では、押し抜き試験時の変位量が少なくことが予想され、コンクリート片がはく離して変状が生じた場合に、その変状が目視点検時に見落とされるおそれが懸念される。しかし、-30°Cの試験結果では、変位量10mm以上の範囲でも1.5kN以上の強度を維持しており、変状を気付くのに十分な変位量があることが分かる。反対に、高温条件下では、十分な強度がないことが懸念される。しかし、写真-1から、変性ポリウレア樹脂のビニロン繊維シートへの優れた付着性と高温条件下においても強靱な硬化被膜を維持していることが確認できる。

以上の試験結果から、-30~60°Cという幅広い温度範囲において、本工法は優れたはく落防止性能を有することを確認した。

(2) 低温環境下での施工性能、はく落防止性能の向上

低温環境下で本工法の施工を行った場合の施工性能とはく落防止性能を確認するために、-5°C、5°Cの雰囲気

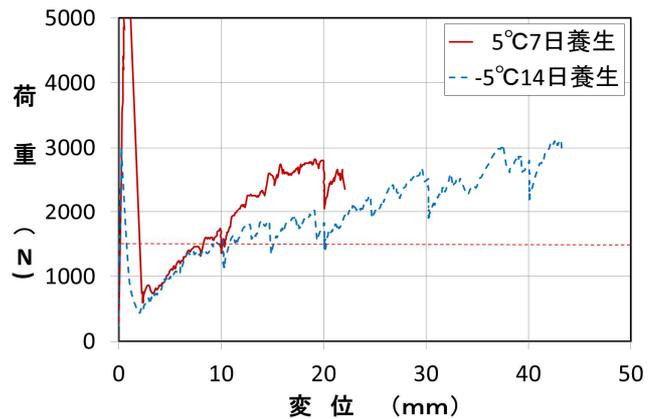


図-5 試験結果 (低温養生での押し抜き強度)

下で押し抜き試験の試験体の作製と養生を行い、養生中の硬化性確認と押し抜き試験を実施した。試験方法等は、前節と同様とし、実施した試験条件を表-3に示し、押し抜き試験の試験結果を図-5に示す。

従来工法のエポキシ樹脂系含浸接着樹脂は、5°Cの場合、1日後には仕上げ材を塗布できるところまで硬化しているものの、-5°Cの場合には、2日後では未硬化であり、仕上げ工程に移ることはできなかった。それに対して、表-3に示した施工条件で、本工法で用いる変性ポリウレア樹脂系含浸接着樹脂の硬化性を確認したところ、-5°Cで1日後には硬化しているため、仕上げ材を塗布することが可能であり、-5°Cの環境下でも施工可能であることを確認した。

低温養生の場合のはく落防止性能については、図-5から、5°C7日後、および-5°C14日の押し抜き強度は、いずれも1.5kN以上となっており、十分なはく落防止性能を有していることを確認した。ただし、-5°C14日の養生条件の場合には、変位量の増加に伴い、押し抜き強度も増加し続ける変位-荷重曲線となっており、5°C以上の養生条件の場合と異なった曲線である。そのため、最大荷重に達する変位量が大きくなっている。これは、14日養生時点では、変性ポリウレア樹脂系含浸接着樹脂が完全硬化には至っていないために、その硬化被膜はまだ柔らかい状態であると思われる。しかし、コアにより押し出

表4 低温環境での施工事例

施工現場		北海道小樽市		静岡県御殿場市		北海道滝川市		
プライマー塗布工	施工日	2010/11/13	気温：8~10℃	2012/1/24	気温：0~4℃	2012/11/26	気温：1~3℃	
	養生期間	2日間隔	気温：1~13℃	3日間隔	気温：-5~6℃	5日間隔	気温：-7~4℃	
連続繊維シート貼付け工	下塗り/シート接着	施工日	2010/11/15	気温：1~4℃	2012/1/27	気温：1~5℃	2012/12/1	気温：-5~4℃
		養生期間			1日間隔	気温：-5~3℃		
	上塗り	施工日	2日間隔	気温：0~4℃	2012/1/28	気温：0~3℃	1日間隔	気温：-13~-5℃
		養生期間			3日間隔	気温：-6~5℃		
仕上げ材塗布工	施工日	2010/11/17	気温：5~8℃	2012/1/31	気温：-1~5℃	2012/12/2	気温：-5~3℃	

されていく3軸ネットを下地に保持する性能としては、要求されているはく落防止性能（1.5kN以上）を満たすことができる硬化被膜まで硬化が進行しているためであると考えられる。そして、-5℃14日養生後に、さらに、23℃2日間、または5℃7日間追加養生すると、押し抜き強度にはほとんど変化がなく、1.5kN以上の押し抜き強度を維持しており、最大荷重に達する変位量は小さくなるのがわかった。それらの変位-荷重曲線は、23℃7日のものとほぼ同じ曲線となっており、氷点下で施工した場合でも、本工法は優れたはく落防止性能を有していることを確認した。

従来のエポキシ樹脂系含浸接着樹脂を用いたはく落防止工法では施工することができなかつた5℃以下の温度条件下での施工事例の一例を表4に示す。いずれの現場においても、施工上の大きな問題もなく、表4に示した施工間隔で施工することができ、実構造物での施工における施工性に問題ないことを確認した。

以上の試験結果から、従来工法では施工が困難であった、-5~5℃の施工温度条件下においても、本工法は十分な低温硬化性を有し、標準的な養生期間で高いはく落防止性能を発揮できることを確認した。

(3) コンクリートの表面保護性能の確認

はく落防止工法は、コンクリート構造物の劣化に伴う第三者影響度の性能低下を抑制することが主たる目的であるが、コンクリート構造物の劣化進行の抑制も求められている。本工法で使用する変性ポリウレタ樹脂は、新規材料であること、柔軟形の硬化物であることを考慮し、コンクリートの表面保護性能を評価した。一般的に、エポキシ樹脂のような硬質樹脂に比べて、柔軟形樹脂は、立体構造の架橋点が少なく、架橋点間が長いこと、外的劣化因子のコンクリート内部への透過性が高いことが懸念される。ここでは、外的劣化因子として、塩害の促進が懸念される水分、塩化物イオン、酸素および二酸化炭素の各透過阻止性を測定した。試験方法と試験結果を表5に示す。

表5には、従来工法の測定値例も併記したが、従来工

表5 気体透過阻止性の試験結果

試験項目 試験方法	試験結果		NEXCO 規格値
	本工法	従来工法	
水蒸気透過阻止性 (mg/cm ² ・日)	0.9	0.1	5.0以下
しゃ塩性 (mg/cm ² ・日)	定量限界 (0.7×10 ³) 以下	定量限界 (0.7×10 ³) 以下	5.0×10 ³ 以下
酸素透過阻止性 (mg/cm ² ・日)	1.3×10 ²	定量限界 (3.6×10 ⁴) 以下	5.0×10 ² 以下
中性化阻止性 (mm)	0	0	1以下

従来工法：溶剤系柔軟形エポキシ樹脂系表面保護工法

表6 ひび割れ追従性の試験結果

試験条件		ひび割れ 追従性	試験方法
養生条件	試験温度		
標準養生 (23℃28日)	23℃	3.4mm	JSCE K 532
	-20℃	2.0mm	
標準養生後に、 促進耐候試験700時間	23℃	2.7mm	

促進耐候試験：サンシャインウェザオメータに暴露

法の柔軟形エポキシ樹脂と比べると、しゃ塩性と中性化阻止性は同等であり、酸素透過阻止性が高く、水蒸気透過阻止性が若干高くなっていることが分かった。しかし、本工法の試験結果は、表5に併記したNEXCO表面保護工法の規格値をいずれも満足しており、各外的劣化因子の透過阻止性は問題ないものと考えられる。

また、コンクリート構造物にひび割れが発生すると、ひび割れを介して外的劣化因子の侵入が容易になり、鉄筋腐食速度が大幅に増加する³⁾ため、劣化が加速度的に進行することが懸念される。変性ポリウレタ樹脂は柔軟形であるため、ひび割れが発生しても塗膜が切れずに表面を保護することが期待できるため、ひび割れ追従性能の評価も行った。ひび割れ追従性試験の試験結果を表6に示す。

表6から、塗膜が最も固くなると考えられる-20℃の試験結果が2.0mmの変位となっており、良好なひび割れ

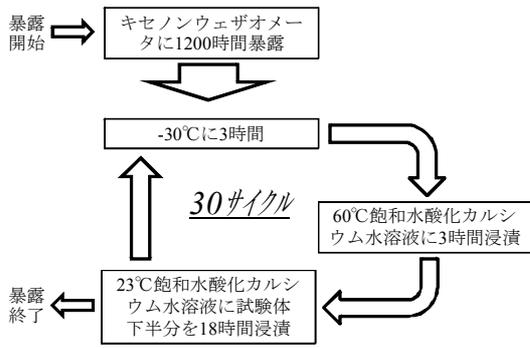


図-6 環境負荷条件

表-8 実暴露試験の試験条件

項目	内容
下地条件	歩道用コンクリート平板 (JIS A 5371) 裏面中央部をφ100mmの形状でコア抜き
施工前条件	ディスクサンダーにて表面処理
施工条件	施工面積: 300×260mm
施工場所 施工日	ボンドエンジニアリング(株) 東京支店 2010.3.30~31
暴露条件	ボンドエンジニアリング(株) 2010.4.1~2011.3.31 ユニシ(株) 浦和研究所 2011.4.1~

追従性を有することが分かる。変性ポリウレタ樹脂を用いることにより、ひび割れなどの下地の変形に対しても外的劣化因子の侵入を抑制できることが確認できた。

(4) 耐久性能の確認

本工法を施工仕様に従い作製した試験体を、図-6に示す環境負荷条件に供して、本工法の促進耐久性の確認試験を実施した。評価項目は、付着性能、ひび割れ追従性能と塩化物イオン透過阻止性能とし、それらの環境負荷前後の試験結果を表-7に示す。

表-7から、付着強度は、値が低いものの、環境負荷前後の付着強度にほとんど差がなく、かつ、破壊状態が含浸接着樹脂の凝集破壊となっていることから、安定した付着性能を有していることが分かる。付着強度が低いことは、含浸接着樹脂は硬化塗膜が柔軟であるためであると考えられるが、環境負荷前後で強度にほとんど変化がないことから、環境負荷後のはく落防止性能も環境負荷前と同等であると推測される。次に、ひび割れ追従性は、環境負荷後に伸びの値は低下しているものの、その低下率は低く、ひび割れが発生した場合の外的劣化因子の侵入を防ぐことができるものと思われる。また、はく落防止性能に大きく寄与している繊維シートも、含浸接着樹脂に保護され、ほとんど劣化していないものと推測される。最後に、環境暴露後の塗膜自体の塩化物イオン透過性も測定限界値以下となっており、優れた塩化物イオン透過阻止性、つまり塩害防止効果を維持しているものと思われる。

以上の試験結果から、本工法は、優れた促進耐久性を有していることを確認できたが、変性ポリウレタ樹脂と

表-7 促進耐久性の試験

		環境負荷前	環境負荷後
試験方法, および 環境負荷方法		NEXCO試験方法 試験法425	
付着強度 (N/mm ²)	50°C	1.02, C	1.13, C
	23°C	0.50, C	0.51, C
	-30°C	0.45, C	0.43, C
ひび割れ追従性 (mm)	50°C	4.2	3.6
	23°C	3.9	3.0
	-30°C	1.7	1.2
塩化物イオン透過性 (g/m ²)		測定限界値 (0.005)以下	測定限界値 (0.005)以下

破壊状態 C; 含浸接着樹脂の凝集破壊

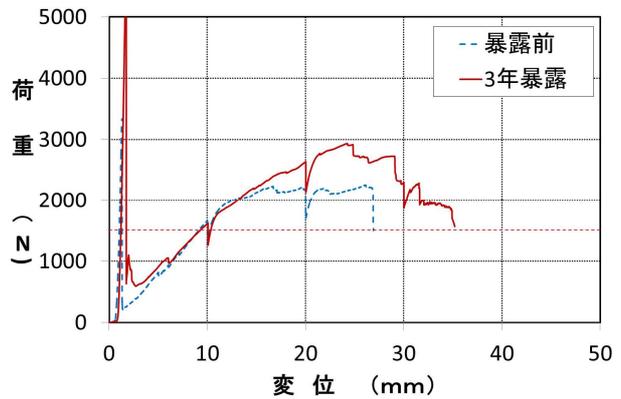


図-7 実暴露試験の試験結果

いう新規材料を用いているため、はく落防止性能に関して、実暴露での耐久性試験を開始した。現在、3年までの暴露試験結果が得られているため、その暴露条件等の試験条件を表-8に示す。

暴露前と3年暴露後の押し抜き試験の試験結果を図-7に示す。

図-7から、3年暴露後の試験体は、押し抜き強度1.5kN以上を維持しており、優れたはく落防止性を維持していることが分かった。気候が普通の地方における3年間の実暴露試験では、はく落防止性能は低下していないことが確認できた。

本実暴露試験では、暴露スペースを考慮して、JSCE-K533で規定されているU形ふたよりもサイズの小さい歩道平板を試験体に使用しているため、試験結果が異なることが懸念された。暴露前の試験結果と図-4中の23°C試験結果と比較すると、若干差があったが、これは、施工面積が狭くなっているために、押し抜き試験の最終段階で変位-荷重曲線の挙動が異なったものと思われる。そのため、歩道平板を用いた押し抜き試験は、最大荷重を低く評価してしまう可能性があるものの、暴露試験の試験体として特に問題ないものとする。

表-9 最短時間で施工可能な施工仕様と施工例

施工工程	本工法		従来工法	
	次工程までの最短施工間隔(23℃)	実施工での施工例 埼玉県加須市 (5~10℃)	施工日数	施工日数
プライマー	2時間	9:00~10:00	↓ 1日目	↓ 1日目
連続繊維シート貼付け	直後	11:00~14:00		↓ 2日目
	直後	11:15~14:15		
	6時間	13:00~17:00		
仕上げ材	—	9:00~10:00	↓ 2日目	↓ 3日目
最短施工日数			2日	3日

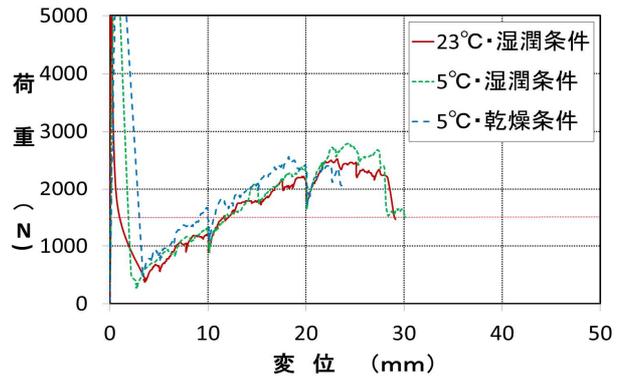


図-8 最短時間で施工した場合の試験結果

(5) 最短時間で施工した場合の性能評価

本工法で使用するプライマーは、1液湿気硬化型エポキシ樹脂であり、計量ミスや混合不良などによる硬化不良や接着不良が起こらないという長所を有している。そのため、一定の養生時間を設ければ、硬化状態を確認することなく、次工程に進むことが可能であると考え。また、変性ポリウレア樹脂は、速硬化性を有しているため、本工法では、プライマー工から連続繊維シート貼付け工までを1日で施工して、翌日に仕上げ材塗布工を行う、最短2日間の施工仕様が可能であると考えた。最短時間で施工する場合の施工仕様の最短施工間隔を表-9に示し、その施工仕様のはく落防止性能の評価試験（養生条件：23℃7日，5℃14日）の試験結果を図-8に示す。

図-8から、いずれの試験条件においても、最大強度が1.5kN以上となることが確認できた。1液湿気硬化型エポキシ樹脂は、下地および空気中の水分で硬化反応が開始するため、5℃・乾燥条件(相対湿度30~50%)も評価したが、特に問題ないことが分かった。また、表-9には実施工での施工時間の確認試験の結果も併記しているが、施工性においても特に問題ないことを確認した。

以上の試験結果から、移動足場での施工など、時間的制約がある場合の対策として、最短2日間で施工を完了できる施工仕様を提案する。

4. まとめ

新たに開発した変性ポリアミンを利用した変性ポリウレア樹脂をビニロン製3軸ネットの含浸接着剤に用いた新規はく落防止工法は、以下の特長を有することが確認できた。

- ① -30~60℃における押抜き試験で1.5 kN以上の押抜き強度と十分な変形性能を有しており、優れたはく落防止性能を有すること
- ② -5~5℃の低温環境下での施工性、硬化性に優れ、

低温環境下で養生した場合でも優れたはく落防止性能を維持していることと実施工においても特に問題なく施工できること

- ③表面保護工として、劣化因子の遮断性能が高いこと
- ④従来のエポキシ樹脂では満足できなかったひび割れ追従性が高いこと
- ⑤付着性能は、柔軟形のために強度は低いものの、安定した付着性能を有していること
- ⑥促進試験、及び3年間の実暴露では、良好な耐久性を示すこと
- ⑦実施工において、施工工程の簡略化と施工日数の短縮が可能であること

最後に、本工法に用いる変性ポリウレア樹脂は、はく落防止工法に用いる繊維シート含浸接着樹脂として、バランスのとれた材料であることが確認できたが、新しい材料であるため、実暴露による耐久性の評価が今後の課題と考える。実暴露による耐久性試験に関して、現在、気候が普通の地方における3年間の試験結果が得られた段階である。引き続き、はく落防止性能の耐久性の評価について継続したいと考える。また、特に寒冷な地方や特に温暖な地方での暴露試験を行い、実暴露試験によるはく落防止性能の確認を行いたいと考える。

謝辞：本工法の開発研究に当たり、京都大学 木村 亮教授にご助言を賜りました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 奥野喜久・堀井久一・高谷 哲・山本 貴士：1 液型無溶剤エポキシ樹脂プライマーを適用したコンクリートの腐食ひび割れ特性，コンクリート工学年次論文集，Vol. 33，No. 1，pp1613-1618，2011
- 2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 I 共通編，丸善，pp63-67，2012
- 3) 魚本健人監修：コンクリート構造物のマテリアルデザイン，オーム社，pp140，2007