

新設施工時に適用する外壁複合改修工法による鉄筋腐食ひび割れの抑制効果

DB20235 友納和暲

1. はじめに

1995 年の阪神淡路大震災における高架橋等の主要コンクリート部材における鉄筋腐食が関係した部材崩壊現象には、海砂の内在塩分の影響等が生じていたが、近年においてもコンクリート用骨材の枯渇減少は続いている。その環境下で、今後のコンクリート構造物の維持保全には、品質差の発生リスクがある外壁に対しても、長期耐用が求められる可能性があるため、外壁仕上げやかぶり部分の剥離・剥落に対する予防保全的な措置^{1) 2)}が必要といえる。そこで本研究では、外壁複合改修工法を新設施工の段階で施工することで主に塩害による鉄筋腐食ひび割れや剥離・剥落の防止効果を検討する。なお、本研究におけるひび割れ抑制効果については、図 1 に示すように、ひび割れによる性能低下曲線の「潜伏期・加速期」における変化をかぶり部における表層品質の変化で捉える。これは、試験体全体の吸水・乾燥質量と表層部の乾燥過程程度値変化により実証でき、予防保全対策となる。通常はひび割れによる「劣化期」になるとひび割れ幅の拡大、錆汁溶出等が生じて事後保全対策が必要になるが、その前段での評価を可能とし、早期劣化対策を踏まえた維持保全が可能になる。

2. 実験概要

2.1 使用材料

表 1 に使用材料、表 2 に試験体の組み合わせ、表 3 に計画調合を示す。塩水浸漬試験の際に用いるコンクリート試験体は 100mm×100mm×100mm とする。水セメント比、塩化物量、かぶり厚さが異なる試験体を用意し、ピンネット工法を施工した試験体と施工していない試験体のあわせて 14 種類を各 3 体ずつ計 42 体の試験体を作成する。

2.2 外壁複合改修工法の新設施工法

表 1 に使用材料、図 2, 3 に外壁複合改修工法を施す試験体のイメージ、図 4 に施工手順を示す。外壁複合改修工法は鉄筋のかぶり部分(最も剥離・剥落が起こるであろう 2 面に)施す。通常の外壁複合改修工法ではこれらの補修の上に仕上げ材を張り付けるが、本研究ではコンクリートの鉄筋腐食によるひび割れの抑制効果を検証するため仕上げ材の貼り付けは行わない。

表 1 使用材料

材料	種類・特性
セメント	普通ポルトランドセメント 密度:3.16 (g/cm ³)
粗骨材	砕石 青梅産 密度:2.56 (g/cm ³)
細骨材	川砂 大井川産 密度:2.59 (g/cm ³)
化学混和剤	AE 減水剤 4 倍液 C×1.0%
水	上水道水
塩	食塩 (3.4%)
かぶり鉄筋	D10-SD295 (サンドブラスト処理)
プライマー	試験体とポリマーセメントモルタルの接着向上
ポリマーセメントモルタル	ネットを張るための下地
ビニロン製三軸ネット	コンクリートの剥離・剥落防止
ステンレスアンカーピン	ビニロン製三軸ネットとコンクリートの一体化 (50 mm)

表 2 鉄筋腐食、剥離・剥落防止試験体組み合わせ

試験体記号	水セメント比 (%)	塩化物量 (kg/m ³)	かぶり厚さ (mm)	想定危険レベル
NS10n, NS10p	65	0.3	10	L3
NS30n, NS30p			30	L4
NL10n, NL10p		1.2	10	L1
NL20n, NL20p			20	L2
NL30n, NL30p	45	0.3	30	L3
HS10n, HS10p			10	L5
HL10n, HL10p		1.2	10	L4

備考)水セメント比 65 (%) :N/45 (%) :H 塩化物量 0.3 (kg/m³) :S/1.2 (kg/m³) :L
ネットあり:p/無し:n
危険レベル:試験体の鉄筋腐食ひび割れ抵抗性の強さを表す。(弱)L1~L5(強)

表 3 計画調合 (1000L)

水セメント比 (%)	水 (kg)	塩 (g)	セメント (kg)	細骨材 (kg)	粗骨材 (kg)	化学混和剤 (g)
65	177	300 ^{※1}	390.0	769.8	980.5	975.0
		1200 ^{※2}				
45	179	300 ^{※1}	270.0	912.6	946.8	675.0
		1200 ^{※2}				

※1 塩 300g は 1000L のコンクリート中の規定値の最大量 0.3 (kg/m³) を想定。
※2 塩 1200g は 1000L のコンクリート中の規定値の 4 倍 1.2 (kg/m³) を想定。

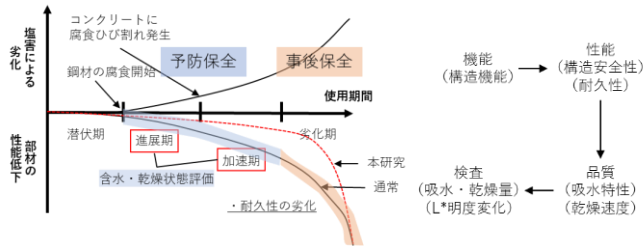


図 1 塩害による劣化進行過程の概念図の一例（安全性）

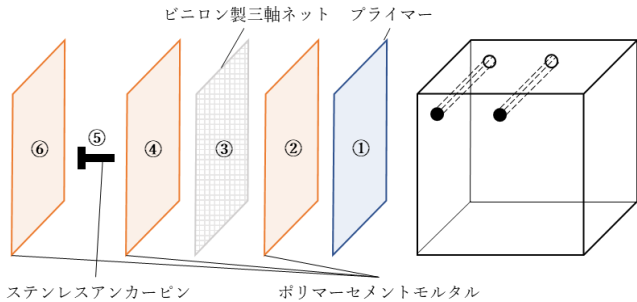


図 2 模擬試験体に外壁複合工法を施す断面構成

2.3 実験方法

表5に試験方法、写真1に塩水浸漬試験の試験方法を示す。水セメント比と塩分量がそれぞれ違う試験体計4種類の力学特性について、圧縮強度試験、引張強度試験、静弾性係数試験の3つの試験方法を用いて調査した。圧縮強度試験と静弾性係数試験は材齢が28日、91日の試験体を測定し、引張強度試験は材齢が28日の試験体を測定した。

塩水浸漬試験では、水セメント比と塩分量の違いに加え、鉄筋のかぶり厚さの異なる試験体計14種類の試験体を用いて乾湿を繰り返し、試験体の質量変化、含水率を記録する。最終的に外壁複合改修工法が施工されている試験体とされていない試験体を比較し、それぞれを評価する。なお、浸漬させる水は通常の塩害による劣化を想定し、まず内在塩分のみでコンクリート劣化を促すよう試みるため淡水で行う。その後1か月ほど乾湿を繰り返し、一定の劣化環境下に置いた後、試験体にひび割れや剥離・剥落などの劣化が見られなかった場合、浸漬する水を淡水から海水と同じ塩分濃度(約3.4%)の塩水に変え、塩分の飛来を想定した外材塩分でも劣化を促し、試験体の劣化を促進させる。乾燥は定温恒温乾燥器を用いて乾燥させる。

表層品質調査では浸漬直後の試験体を軽くふき取り、浸漬直後、浸漬5分後、浸漬10分後、浸漬15分後、浸漬20分後、浸漬25分後、浸漬30分後のかぶり部分上部のL*値について色彩計を用いて測り、シリーズごとに比較する。比較する箇所としては鉄筋を埋め込んでいる試験体の端上部を1段目、試験体の真ん中部分を2段目、1眼目と対面に位置する部分を3段目に設定し、試験体の表層品質調査を実施する。

2.4 コンクリート力学特性

図4のa)に圧縮強度試験の結果を示す。NS,NLとHS,HLを比較するとNS,NLのほうが圧縮強度は小さいため塩水浸漬試験を実施する際、NS,NLのほうが早く表層劣化が見られると予想できる。

図4のb)に引張強度試験の結果を示す。これも圧縮強度と同様に水セメント比が小さい試験体ほど引張強度が小さくなる。標準偏差は、NS,NLのほうがばらつきが大きく、HS,HLのほうがばらつきが小さい。

図4のc)に静弾性係数試験の結果を示す。このグラフでは4種類ともに大きな値の違いは見られない。

これらのコンクリートに対して、外壁複合改修工法を新設工法として適用した外壁複合模擬試験体を作製し、塩水浸透試験と色彩値による表層品質試験を行う。

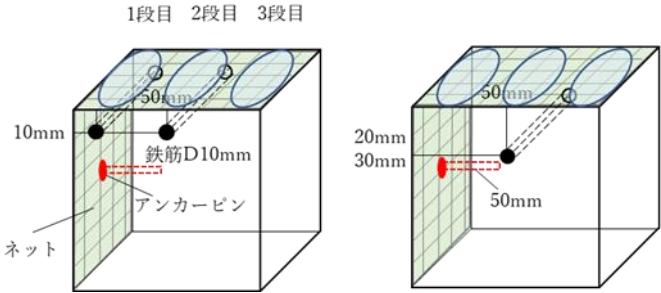


図3 外壁複合改修工法を施す試験体の概要



図4 外壁複合改修工法の施工手順

表5 試験方法および内容

試験項目	内容
圧縮強度試験	JIS A 1108 により測定。 円柱供試体：D：100mm H：200mm 材齢：28d, 91d 調合：NS, NL, HS, HL (各3本ずつ)
引張強度試験	JIS A 1113 により測定。 円柱供試体 (D：100mm H：200mm) 材齢：28d 調合：NS, NL, HS, HL (各3本ずつ)
静弾性係数試験	JIS A 1149 により測定 円柱供試体 (D：100mm H：200mm) 材齢：28d, 91d 調合：NS, NL, HS, HL (各3本ずつ)
塩水浸漬試験	JIS A 1148 により測定。 角柱試験体 (H：100mm W：100mm L：100mm) 調合：(NS10p, NS10n), (NS30p, NS30n) (NL10p, NL10n), (NL20p, NL20n), (NL30p, NL30n) (HS10p, HS10n) (HL10p, HL10n) (各3本ずつ)
表層品質測定	時間変化による含水状況の差を色彩計を用いてL*値を測定し、乾燥に伴う明度回復時間を評価。

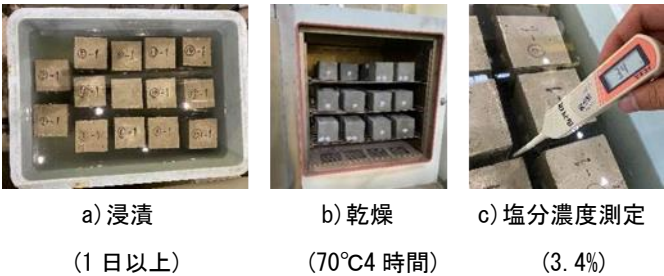


写真1 外壁複合模擬試験体の塩水浸漬試験の試験方法

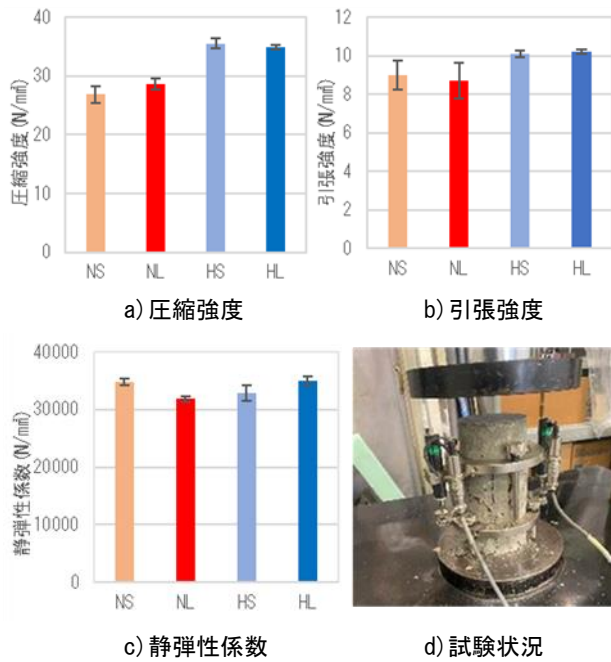


図5 コンクリート力学特性

2.5 外壁複合改修試験体の塩水浸漬試験の結果

図6、図7に浸漬試験による浸漬直後と乾燥直後の質量変化を示す。図6の浸漬試験による浸漬直後の質量変化について、いずれの調合にもピンネット施工の有無で比較すると、ピンネット施工無しの試験体は吸水率が大きくなり、ピンネット施工有の試験体はそれほど吸水率が大きくなりません。つまり、かぶりコンクリートの微細ひび割れによる吸水により質量は増えるということがわかった。さらに、かぶり厚さが小さいほど吸水率が大きい。これはかぶり部分の劣化が質量変化に影響を与えるということである。図7の浸漬試験による乾燥直後の質量変化について、乾燥後にピンネット無し試験体が増大する理由は、鉄筋腐食が進むにつれて発生する錆汁で錆部分とセメント硬化体内部に侵入水が固定される影響が推測され、コンクリートのひび割れ後は劣化が進行し、剥離剥落を起こす。ピンネット施工有の試験体は質量変化に増減がほとんどないため、鉄筋腐食を遅らせる役割があると考えられる。すなわち、コンクリートのひび割れや剥離剥落の抑制効果があると考えられる。

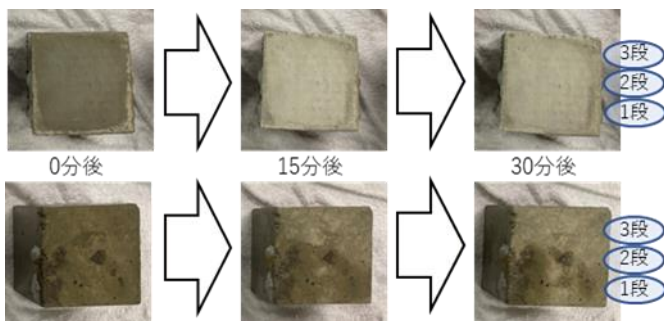


図6 外壁複合模擬試験体 HS10p と HS10n の吸水乾燥変化

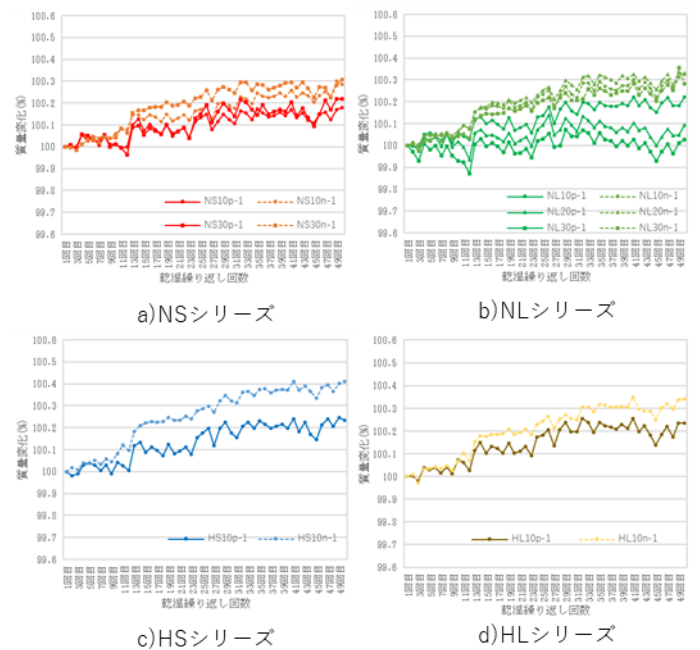


図7 外壁複合模擬試験体の浸漬試験による質量変化 (浸漬直後)

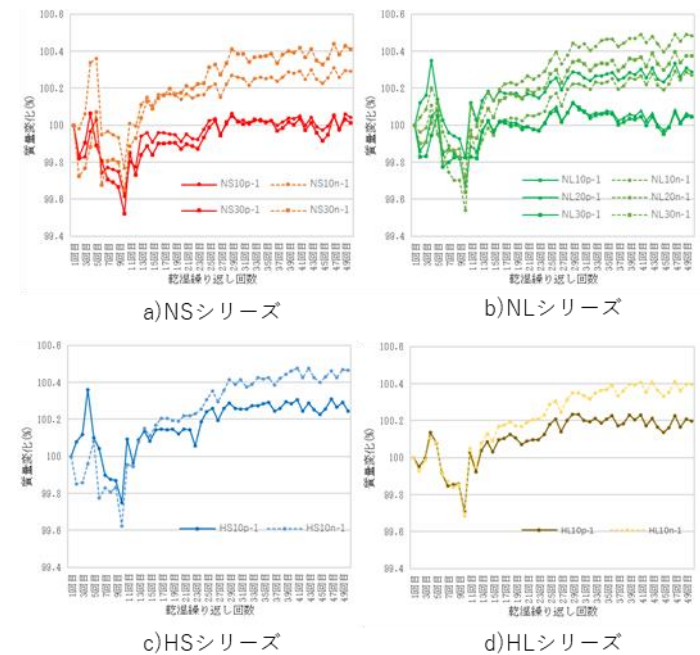


図8 外壁複合模擬試験体の浸漬試験による質量変化 (乾燥直後)

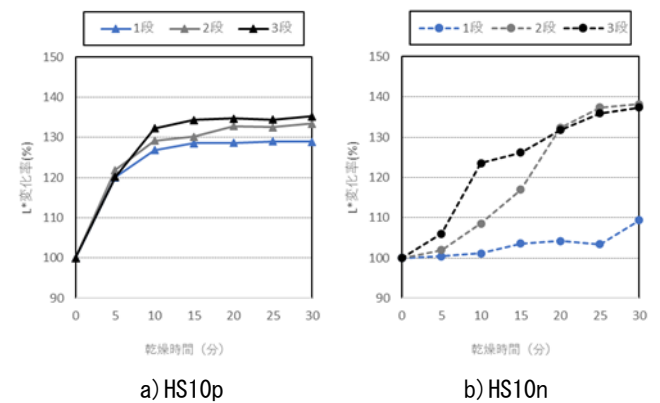


図9 外壁複合模擬試験体のL*値変化率 (HS10 シリーズ)

2.6 外壁複合改修試験体の表層品質測定の結果

図9にHS10シリーズのL*変化率の結果を示す。ここでは、普通・高強度およびかぶり厚さ10, 20, 30 mm試験体における含水後の表層におけるL*明度の変化率を全種類で実験した結果、かぶり厚さの小さい10 mm試験体における鉄筋直下の1段目、2段目と、かぶり鉄筋無の3段目とのL*変化率の差が最も顕著であったため、その結果の一例を示した。a) HS10pでは、2 mm程度のアンカーピンネット保護層が全段に存在し、ひび割れのない安定した表層品質が維持されているため、20℃湿度40%の乾燥室において、含水後10分程度で表層全断面のL*変化率が安定化し、平衡含水状態に到達したと考えられる。一方、表面保護がされていないb) HS10nでは、かぶり厚さ10 mmの鉄筋直上にある1段目の表層のL*変化率が25分程度維持されたままで濡れ色が継続しており、表層の高含水状態が保持されていることが想定された。このことは、鉄筋腐食に伴うかぶりコンクリートの微細ひび割れ部分への含水状態が保持されていることを示しており、アンカーピンネットシリーズよりも鉄筋腐食剥離・剥落抵抗性が損なわれていることを示している。この結果は、かぶり鉄筋部から離れた3段目では高い含水状態に伴うL*変化率の上昇が生じていることから理解される。

続いて図10のa), b), c), d)に、普通強度Nと高強度Hシリーズの1段目に着目したL*変化率を示す。先の結果に示されるように、普通Nシリーズでは、塩分量の差に関わらず、かぶり厚さ10 mmの鉄筋直上にある1段目の表層のL*変化率は、アンカーピンネット保護層のあるPシリーズの場合、ひび割れのない安定した表層品質が維持されているため、含水後10分程度で表層全断面のL*変化率が安定化し、平衡含水状態に到達している。保護層のないnシリーズでは、平均20~25分程度維持されたままで濡れ色が継続しており、表層の高含水状態が保持されていることが想定された。また高強度Hでは、普通Nより保護層のないnシリーズでのL*変化率の安定化にばらつきはあるものの同様の傾向を示した。

参考文献

- 1) 田村, 岡, 長期供用の旧基準鉄筋コンクリート部材を想定した鉄筋腐食ひび割れに関する予防保全診断技術の検討, 非破壊検査協会シンポジウム, 2012
- 2) 友納, 田村他, 新設施工時に適用する外壁複合改修工法による鉄筋腐食ひび割れの抑制効果, 日本建築学会関東支部, 2024 (投稿済)

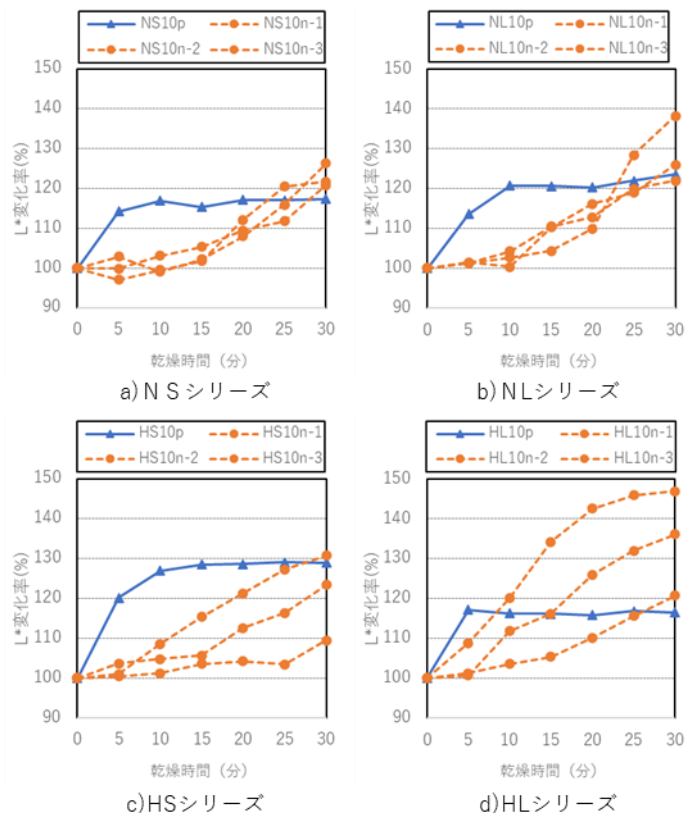


図10 外壁複合模擬試験体のL*変化率(1段目)

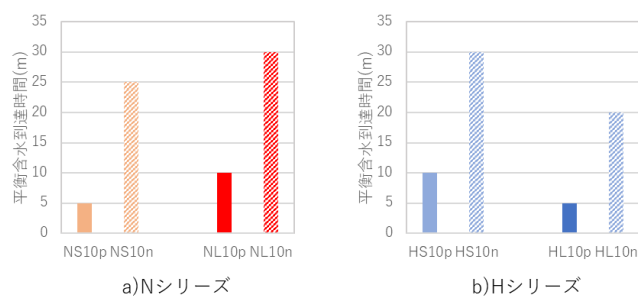


図11 外壁複合模擬試験体の平衡含水到達時間(1段目、10 mm)

3. まとめ

- (1) 塩水浸漬試験より、ピンネット施工有り試験体は吸水による質量増加が遅いのに対し、ピンネット無施工の試験体は質量増加が早いため、かぶり部表層劣化が影響している。
- (2) 表層品質試験より、ピンネット施工有り試験体は吸水後乾燥によるL*の明度回復が早く、無施工の試験体に比べて約1/4~1/3の時間で早く乾くことから、表層劣化による鉄筋かぶり部の腐食抑制効果がある。
- (3) ピンネットにより表層劣化抑制が確認できたので、鉄筋腐食進展期・加速期への影響を継続評価する。

謝辞

本研究は、リノ・ハピア株式会社、株式会社リフォームジャパンとの2023年度工学院大学共同研究であり、関係者各位に多大な助力を得た。また、工学院大学建築学部建築学科田村研究室の吉川治希の助力を得た。