

令和 2 年 7 月 10 日現在

機関番号：32665

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2016～2019

課題番号：16K06590

研究課題名（和文）シラン系塗布含浸材のコンクリート内部へ高圧注入によるコンクリート構造物の長寿命化

研究課題名（英文）High Pressure Impregnation of Silane Based Barrier Penetrants into Concrete for Prolonging Life Span of Concrete Structures

研究代表者

Sanjay PAREEK (PAREEK, Sanjay)

日本大学・工学部・教授

研究者番号：20287593

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,600,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、ひび割れの自己修復機能を有するコンクリートの耐久性向上を目的とし、ひび割れ発生前において、コンクリート内部に設けたネットワークにシラン系含浸材を高圧で注入し、コンクリート内部に浸透させた後、含浸深さ試験を行った。その結果、ネットワーク周辺におけるシランの浸透域が形成されたことを確認した。また、シランの浸透深さは注入圧力及び注入時間の増大に伴い、増加傾向を示した。さらに、シランの浸透域において累積細孔量が減少傾向を示し、シランによる撥水層の形成に伴い吸水性能が抑制された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

RC構造物における梁・柱部材の内部に充填孔（以下：ネットワーク）を設けることで、ネットワーク内部に表面保護工で使用されるシラン系含浸材を注入し、ネットワーク周辺に劣化因子に対する保護層を形成させた供試体において、Cl⁻の浸透抑制効果の検討を行った。本研究では、シランの浸透域の拡大のため、高圧ポンプを用いたシラン系含浸材のネットワーク内部への高圧注入による耐久性向上に関する検討を行った。以上の結果から、シラン系含浸材はコンクリート表面からのH₂O、Cl⁻の浸透が抑制されるため、鉄筋腐食による耐久性の向上が期待できる。

研究成果の概要（英文）：From the high pressure silane injection into the concrete the following test results were obtained.

The water absorption was completely stopped by the penetration of H₂O from concrete surface and formed a protective layer by high pressure silane injection. Silane impregnation depth and impregnation amount was totally proportional to the injection pressure and injection time. The higher the pressure and longer the injection time, the larger was the impregnation depth of silane into concrete. The cumulative pore volume decreased by the silane penetration at high pressure.

The durability of concrete was remarkable improved by the impregnation of silane at high pressure into the concrete.

研究分野：建築材料・構造

キーワード：シラン系含浸材 ネットワーク 吸水試験 高圧注入 空隙率

1. 研究開始当初の背景

鉄筋コンクリート(以下:RC)構造物は、ひび割れの発生に伴い劣化因子の侵入による耐久性の低下が助長される。そのため、性能低下に応じたメンテナンス方法が確立されつつあるが、RC構造物はあらゆる用途で使用されており、大規模構造物における補修・補強作業は、時間的・人的・経済的なコストが莫大なものになる。そこで、ひび割れの自己修復機能をRC構造物に付与することで、RC構造物を長寿命化させることが期待できる。

2. 研究の目的

当自己修復システムは、コンクリート内部に補修剤の充填孔(以下:ネットワーク)を設け、ひび割れが発生した際に自動的にひび割れの修復を行う自己修復システムの開発を行ってきた。しかし、CO₂やCl⁻などの劣化因子は、ひび割れからのみでなく、コンクリート表層部から浸透し、劣化を引き起す。そのため、ネットワーク内部に表面保護工法で使用されるシラン系含浸材(以下:シラン)を注入し、ネットワーク周辺に劣化因子に対する保護層を形成させることで、耐久性の向上が期待できる。

3. 研究の方法

自己修復システムを付与したモルタル及びコンクリートを用いた耐久性試験を行い、鉄筋腐食に対する耐久性の向上に関する検討を行う。

(1) 使用材料

モルタル供試体は、セメントに普通ポルトランドセメントを細骨材に豊浦産珪砂を使用した。また、練混ぜ水には水道水を、混和剤に高性能AE減水剤を用いて作製した。モルタルの調合はセメント:細骨材=1:3(質量比)で混合し、水セメント比を60%とした。混和剤はセメント質量に対して1%混入した。

コンクリート供試体は、セメントに普通ポルトランドセメント、細骨材として福島県須賀川産砕砂(寸法:5mm以下)、粗骨材には、福島県白河産碎石(寸法:5~13mm)を使用した。また、練混ぜ水には水道水を、混和剤として高性能AE減水剤を使用した。コンクリート供試体の調合表をTable 1に示す。なお、補修剤には1液性のエポキシ樹脂を、含浸材には、シラン・シロキサン系含浸材を使用した。Table 2にシランの性質を示す。

4. 研究成果

(1) ひび割れの自己修復システム及びネットワークへのシランの注入によるCl⁻浸透抑制効果の検討

ネットワーク内部にシランを注入し、ひび割れを自己修復させた供試体を用いて、乾湿繰り返し試験を行った。Photo 1に乾湿繰り返し後の供試体を、Fig.1に乾湿繰り返しサイクルに対するCl⁻浸透深さ及びCl⁻浸透面積率の関係を示す。ネットワークにシランを注入することで、ネットワーク周辺に遮塩層が形成され、モルタル表面からのCl⁻に対する浸透が抑制された。また、自己修復により、ひび割れからのCl⁻の侵入及び鉄筋腐食が抑制された。

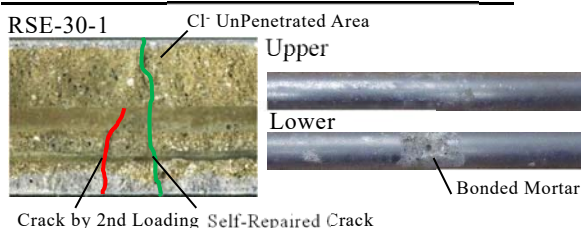
Table 1 Mix Proportions of Concrete.

W/C (%)	Unit Content (kg/m ³)				
	C	W	S	G	AE
57.9	318	184	855	936	3.180

AE: Air Entraining and Water Reducing Agent

Table 2 Properties of Silane.

Main Component	Active Component (%)	Viscosity (Pa·s/25°C)
Silane-Siloxane	90≦	500



Crack by 2nd Loading Self-Repaired Crack

Photo 1 A View of Steel Corrosion and Cl⁻ Penetration Depth Test Results of RSE Specimens.

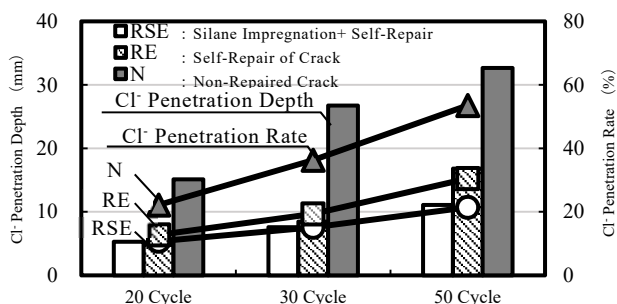


Fig.1 Comparison of Cl⁻ Penetration Depth and Cl⁻ Penetration Rate of RSE, RE and N Specimens.

(2) ネットワーク内部へのシラン系含浸材の高圧注入による耐久性向上に関する検討

注入圧力と注入時間をパラメータとしたシランの高圧注入を行い、促進中性化及び乾湿繰り返しによる耐久性試験を行った。Photo 2 には、はっ水試験後の供試体を、Fig.2 には注入時間に対するシランの浸透深さと注入量の関係を示す。ネットワーク内部へシランを高圧で注入することにより、シランによるはっ水層が形成された。また、シランの浸透性状は、注入圧力及び注入時間が増大するほど、増加傾向を示した。

Fig.3 には、中性化深さとシランの注入時間の関係を示す。中性化深さはシランの注入時間の増加に伴い、中性化深さが抑制される。これは、注入時間の増加に伴い、シランの浸透域が増大したためと推察される。

Fig.4 にはシランを注入した供試体内部における鉄筋の自然電位と乾湿繰り返しサイクルの関係を示す。SC2-180, SC5-60 及び Plain はサイクル開始から自然電位が卑な電位に推移した。一方, SC2-300 及び SC5-180 は、緩やかに貴な電位に推移したことから、シランの浸透域を増加させることで、鉄筋腐食に対する抑制効果を付与することが可能であると考えられる。

Fig.5 には Cl⁻ 浸透深さと乾湿繰り返しサイクルの関係を示す。SC5-60 及び SC2-180 はサイクルの経過と共に Cl⁻ 浸透深さがサイクル終了まで増加傾向を示した。一方, SC5-180 は 7 サイクルにおいて増加した後、15 サイクルまで同様の値で推移し、Cl⁻ の浸透が大幅に抑制された。

Fig.6 に鉄筋腐食面積率と乾湿繰り返しサイクルの関係を示す。Plain は 7 サイクルにおいて鉄筋に腐食が確認され、サイクルの増加と共に鉄筋腐食面積率は増加傾向を示した。腐食の発生した SC2-180 及び SC5-60 は 15 サイクルにおいて、腐食面積率が 10% 程度であり、Plain と比べ 50% 程度、腐食面積率が抑制された。

シラン系含浸材をネットワークに注入することにより、コンクリート表面から浸透する Cl⁻ 及び CO₂ を抑制することが可能となる。さらに、ひび割れの発生時においては、ネットワーク内に補修剤を注入することにより、ひび割れの自己修復が行われ、ひび割れからの劣化因子の侵入が抑制される。

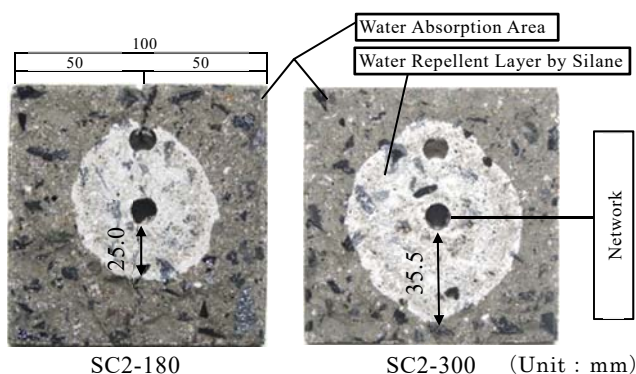


Photo 2 View of Water Repellency of High-Pressure Silane Injected Concrete Specimens.

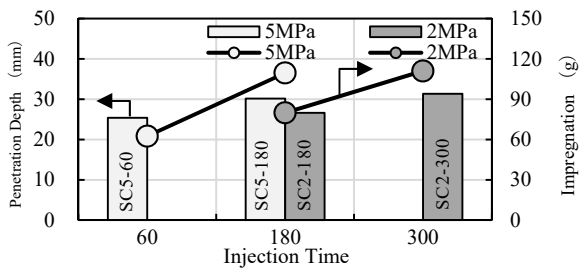


Fig.2 Penetration Depth and Impregnation vs. Injection Time of Silane for Concrete Specimens.

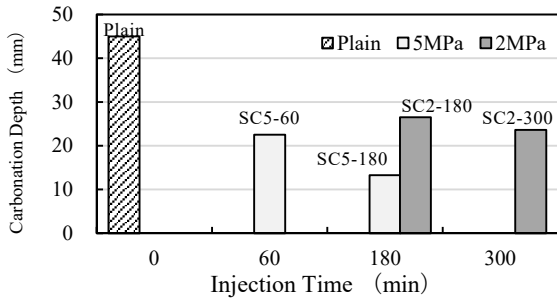


Fig.3 Carbonation Depth vs. Injection Time of Concrete Specimens.

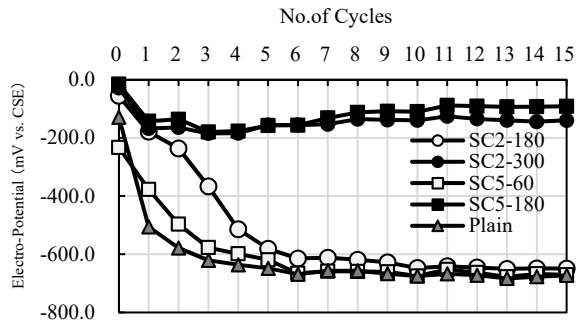


Fig.4 Electro-Potential vs. No. of Dry-Wet Cycles.

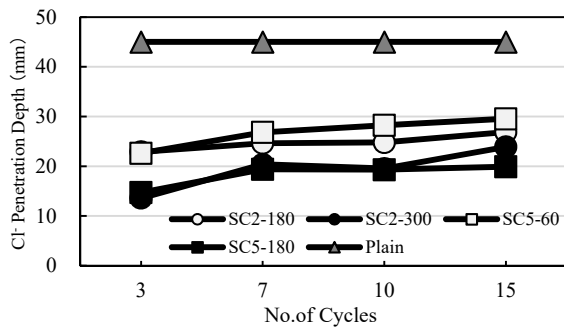


Fig.5 Cl- Penetration Depth vs. No. of Dry-Wet Cycles.

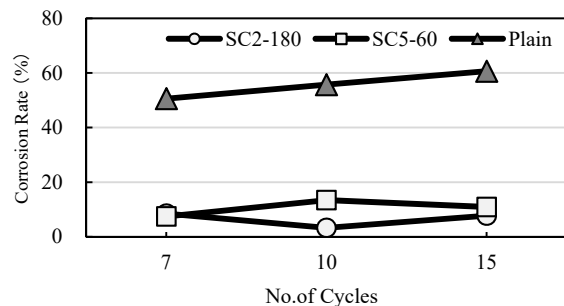


Fig.6 Corrosion Rate vs. No. of Dry-Wet Cycles.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 鈴木裕介, 上野拓, Sanjay PAREEK, 荒木慶一	4. 巻 Vol. 39/ No.1
2. 論文標題 超弾性合金の配筋位置によってヒンジリロケーションしたRC梁の構造性能評価に関する基礎実験	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 コンクリート工学年次論文集	6. 最初と最後の頁 1351-1356
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 上野 拓, Sanjay PAREEK	4. 巻 Vol. 38/ No. 1
2. 論文標題 超弾性合金の形状及び付着性状が及ぼすRC梁部材の繰返し載荷による変形回復能力及びひび割れの自己修復に関する研究	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 コンクリート工学年次論文集	6. 最初と最後の頁 1701-1706
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Sanjay PAREEK, 荒木慶一, 大沼俊洋, 貝沼亮介	4. 巻 Vol. 131/ No.1685
2. 論文標題 構造材料の現在と未来をつなぐ-自己修復・形状記憶材料	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 建築雑誌	6. 最初と最後の頁 11-12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 コンクリート構造物の施工方法及びコンクリート構造物	発明者 Sanjay PAREEK	権利者 学校法人日本大学
産業財産権の種類、番号 特許、特願2016-102400	出願年 2016年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

RC構造材料研究室
<http://kenkyu-web.cin.nihon-u.ac.jp/Profiles/47/0004659/profile.html>
バリーク サンジェイ
<http://kenkyu-web.cin.nihon-u.ac.jp/Profiles/47/0004659/theses1.html>

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----