

論文 あと施工アンカーの施工部が母材コンクリートの中酸化および鉄筋腐食に及ぼす影響に関する実験的研究

毛利 聡^{*1}・福德 真奈美^{*2}

要旨：あと施工アンカーの施工が母材鉄筋コンクリートの中酸化および鉄筋腐食に及ぼす影響を評価するため、模擬試験体の促進中酸化試験と塩水浸漬・乾燥の繰り返しによる内部鉄筋の促進腐食試験を行った。実験の結果、金属系アンカーの施工部はアンカー未施工部と比較して中酸化や近傍の内部鉄筋の腐食が進行する可能性がある一方、接着系アンカーの施工部はアンカー孔に充填される接着剤により劣化因子の侵入が抑制されるため、中酸化、内部鉄筋腐食の進行は未施工部と大差はないことが分かった。

キーワード：あと施工アンカー、耐久性、中酸化、鉄筋腐食

1. はじめに

鉄筋コンクリート造構造物において、あと施工アンカーは仮設工事から設備機器の固定、内外装仕上げ、耐震補強、改修まで多岐にわたり使用されている。建築・土木構造物の長期使用が求められている現状において、あと施工アンカーの重要性も増しており、アンカー本体およびアンカーが施工された母材コンクリートの耐久性の検討や、耐久性を考慮した技術規基準の整備が課題となっている。そして、これまでに母材コンクリートのひび割れの影響^{1), 2)}、アンカー本体の腐食^{3), 4)}、長期載荷^{5), 6)}、疲労^{7), 8)}、高温下^{9), 10)}、接着剤の経年劣化^{11), 12)}などの劣化要因に対する耐久性評価に関して研究が進められている。

しかし、上記に加えてあと施工アンカー施工部における劣化現象として、母材コンクリートの穿孔部において、中酸化が穿孔されていない部分と比べて内部鉄筋の近傍まで進行することや、水分や塩分の孔内への侵入、滞留の影響による鉄筋の腐食が考えられる。この様なあと施工アンカーの施工が母材コンクリートの耐久性に及ぼす影響の評価については、研究は少ないものあと施工アンカーの耐久性向上のためには必要である。

そこで本研究は、あと施工アンカーの施工部が鉄筋コンクリート部材の中酸化および鉄筋腐食に及ぼす影響を実験的に評価し、あと施工アンカーの耐久性に関するデータを蓄積することを目的とする。本報では、アンカー施工部を模擬した試験体に対して促進中酸化試験および内部鉄筋の促進腐食試験を行い、アンカー種類などの実験条件が中酸化や鉄筋腐食に及ぼす影響について検討した結果について報告する。

2. 実験概要

2.1 実験要因と水準

本研究では、あと施工アンカーが施工された鉄筋コンクリート部材を模擬した試験体(以下、「アンカー試験体」)に対し、促進劣化試験として促進中酸化試験並びに塩水浸漬・乾燥の繰り返しによる内部鉄筋の促進腐食試験(以下、「繰り返し塩水浸漬試験」)を行った。本実験の要因と水準を表-1に示す。各水準の試験体数は1体とした。

2.2 試験体

アンカー試験体の形状と寸法を図-1に示す。コンクリートに使用した材料を表-2に、コンクリートの調合を表-3に示す。コンクリートはφ150×300mm 円柱供試体用鋼製型枠に打設し、材齢1日で脱型、材齢4週まで温度20℃一定の水中養生をした後、φ150×150mmの寸法に乾式のダイヤモンドカッターで切断し、切断面を暴露面とした。その後、材齢8週まで温度20℃一定の恒温室内で保存した。アンカーの施工と暴露面以外の面のシールは、材齢7~8週の間にいった。

表-1 実験要因・水準

要因	水準	
アンカー種類	穿孔なし	
	穿孔のみ	
	金属系アンカー	芯棒打込み式 内部コーン打込み式
	接着系アンカー	エポキシアクリレート樹脂
促進劣化試験	促進中酸化	6週
		13週
		26週
	繰り返し塩水浸漬	13週
		26週
促進中酸化13週+繰り返し塩水浸漬13週		

*1 舞鶴工業高等専門学校 建設システム工学科 講師 博士 (工学) (正会員)

*2 舞鶴工業高等専門学校 総合システム工学専攻 専攻科生

鉄筋は、JIS G 3112(鉄筋コンクリート用棒鋼)のSR235規格品であるφ13mmの丸鋼を黒皮(酸化皮膜)が付いたまま使用し、型枠底面に設置した鋼製スペーサーで所定の高さに固定した上からコンクリートを打ち込んだ。

あと施工アンカーの諸元を表-4に示す。金属系アンカーは、写真-1に示す拡張式である芯棒打込み式アンカーおよび内部コーン打込み式アンカーの2種類とした。また接着系アンカーは、エポキシアクリレート樹脂を主成分とするカプセル式接着剤とし、先端を斜め45°にカットしたM10の全ねじボルトを施工したものの1種類とした。各アンカーは製造者が指定する方法で施工した。加えて、アンカー孔の穿孔がない試験体(以下、「穿孔なし」と)、アンカー孔の穿孔のみを行いアンカーを施工しない試験体(以下、「穿孔のみ」)も製作した。

シール材は、促進中性化試験に供する物はアルミテープ、繰り返し塩水浸漬試験に供する物はエポキシ樹脂とした。

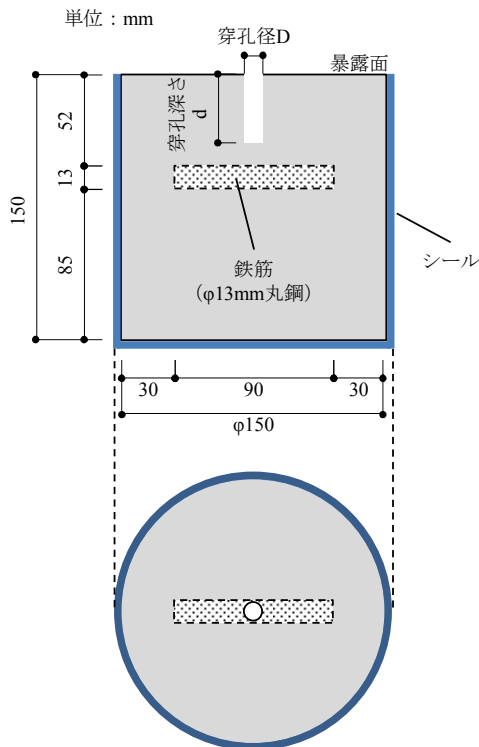
2.3 促進中性化試験

(1) 試験方法

促進中性化試験は、JIS A 1153(コンクリートの促進中性化試験方法)を参考に温度20℃、湿度60%RH、CO₂濃度5%の条件で行った。試験期間は6週、13週、26週とした。なお、穿孔のみ試験体は促進中性化試験装置の容量の都合で試験期間26週のみとした。

(2) 評価方法

所定期間の促進中性化終了後、アンカー試験体を万能



※促進中性化試験用は内部鉄筋無し

図-1 アンカー試験体

試験機で割裂引張試験の要領で二分し、断面にフェノールフタレイン溶液を噴霧し中性化の進行状況を観察した。また、図-2に示すアルファベットの位置で暴露面からの中性化深さを測定し、同じアルファベットの位置で平均を取った(例えば、a, a'での平均はAと表す)。ここで、あと施工アンカーを施工した試験体および穿孔のみ試験体における測定位置f, f'での中性化深さはアンカー孔底からの距離とした。

表-2 コンクリートの使用材料

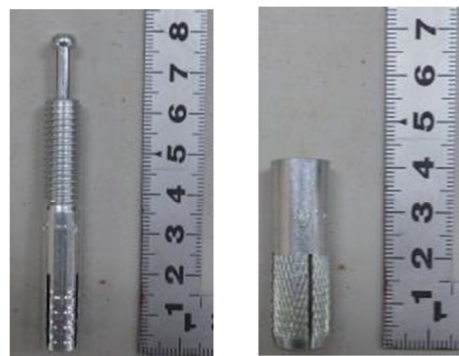
材料	種類および物性
セメント(C)	普通ポルトランドセメント 密度 3.15 g/cm ³
細骨材	S1: 舞鶴市余部産砕砂 表乾密度 2.77 g/cm ³
	S2: 坂井市三国産陸砂 表乾密度 2.60 g/cm ³
粗骨材(G)	舞鶴市余部産砕石 表乾密度 2.82 g/cm ³
混和剤	Ad1: AE減水剤 (リグニンスルホン酸化合物, ポリカルボン酸エーテル複合体)
	Ad2: AE剤 (変性ロジン酸化合物陰イオン界面活性剤)

表-3 コンクリートの割合

W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)						
		W	C	S1	S2	G	Ad1	Ad2
60	46.3	179	298	587	251	1032	2.24	1.49

表-4 あと施工アンカーの諸元

種類	ボルト径 (mm)	穿孔径D (mm)	穿孔深さd (mm)	埋込み深さ (mm)
穿孔のみ	—	13.0	50.0	—
金属系・芯棒打込み式	10	10.5	50.0	40.0
金属系・内部コーン打込み式	10	13.0	40.0	40.0
接着系(全ねじボルト)	10	12.0	50.0	50.0



・芯棒打込み式

・内部コーン打込み式

写真-1 金属系アンカー

2.4 繰り返し塩水浸漬試験

(1) 試験方法

繰り返し塩水浸漬試験は、温度 20°C 一定の恒温室内に設置した濃度 5% の食塩水を入れた水槽にアンカー試験体全体が水没するように 5 日間の浸漬の後、2 日間の温度 20°C 下での静置による乾燥を 1 サイクル (1 週) として行った。なお、内部コーン打ち込み式試験体に対しては実施しなかった。試験期間は 13 週、26 週とし、加えて、芯棒打ち込み式試験体については、前述の促進中性化試験を 13 週間行った後に繰り返し塩水浸漬試験を 13 週間実施する実験も行った。

(2) 評価方法

試験終了後、アンカー試験体を解体し、内部鉄筋を取り出し、両端の切断面を除く鉄筋表面の錆をトレーシングペーパーで写し取った。そして、そのトレーシングペーパーをスキャナでコンピュータに取り込み、AutoCAD (Autodesk 社製) にて図-3 に示すように発錆部を線でなぞり、囲まれた部分の面積の合計 (以下、「発錆面積」) をソフトウェアの面積計算機能で 0.0001mm² まで求めた。結果から切断面を除く鉄筋表面積に対する発錆面積の割合 (以下、「発錆面積率」) を求めた。

その後、濃度 10% のクエン酸 2 アンモニウム水溶液に浸漬し錆落としを行い式(1)により質量減少率を求めた。

$$d = \{(W_0 - W) / W_0\} \times 100 \quad (1)$$

ここで、

d : 質量減少率 (%)

W₀ : 最初の鉄筋の質量 (g)

W : 錆落とし後の鉄筋の質量 (g)

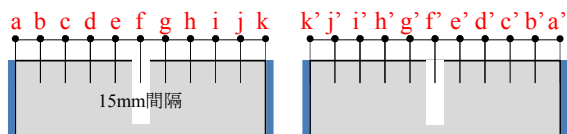


図-2 中性化深さ測定位置

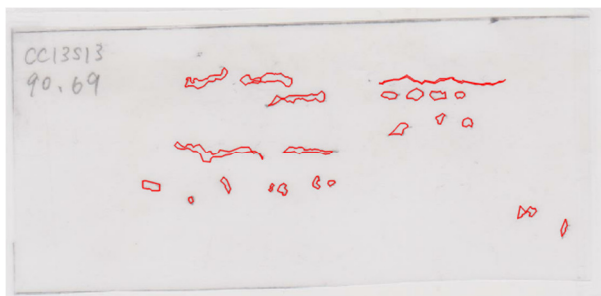


図-3 CAD で発錆部を囲んだトレーシングペーパー画像 (芯棒打ち込み式・中性化 13 週+塩水 13 週)

なお、錆落としの際に鉄筋健全部の黒皮も取り除かれるため、繰り返し塩水浸漬試験に供さない同一長の鉄筋 (以下、「健全鉄筋」) の黒皮除去を行い比較した。

3. 実験結果および考察

3.1 促進中性化試験

各試験期間における中性化の進行状況の写真をまとめたもの表-5 に示す。一部の試験体でシールが不十分であったことが原因と考えられる、割裂面の両端部、すなわち、アンカー試験体側面からの中性化が見られた。しかし、本実験は試験体中央のアンカー施工部に着目するため結果に大きな影響は及ぼしていないと考えられる。

表より、金属系アンカーを施工した試験体ではアンカー種類に関わらずアンカー孔壁が他のアンカー未施工部より深く中性化が進行しており、その程度は穿孔のみ試験体とほぼ同じであったことが分かる。加えて、孔壁から周囲へ中性化が広がる状況が確認できる。しかし、接着系アンカーを施工した試験体では孔壁およびその周囲への中性化は確認されなかった。これは、金属系アンカーを施工した部分のコンクリートは、アンカー本体がアンカー孔壁や孔底とは部分的にしか接しておらず、アンカー本体とアンカー孔との隙間から侵入した CO₂ により、穿孔のみの場合と同じように、局所的にアンカー未施工部より深く中性化が進行した一方で、接着系アンカーではアンカー本体と孔との間に接着剤が充填されているため CO₂ が浸入しなかったからと推察できる。

試験期間 26 週における中性化深さの測定結果を図-4 に示す。接着系アンカーを施工した試験体はアンカー孔底 (F 点) からの中性化の進行は見られなかった。一方、金属系アンカーを施工した試験体および穿孔のみ試験体において、アンカー孔底からの中性化深さが他の点や穿孔なし試験体と比較して小さい結果となった。図-5 に F 点の中性化深さと試験期間 (週) の平方根との関係を示す。図より暴露面からの中性化である穿孔なし試験体と比べてアンカー孔底からの中性化である金属系アンカーを施工した試験体の中性化の進行が遅かったことが分かる。同じくアンカー孔底からの中性化である穿孔のみ試験体についても、試験期間 26 週の中性化深さが金属系アンカーを施工した試験体のもと同程度であり、中性化の進行が遅かったと考えられる。

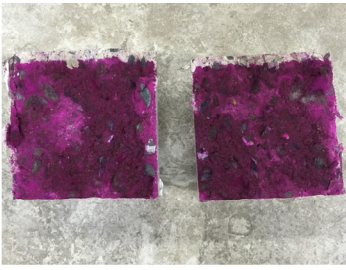
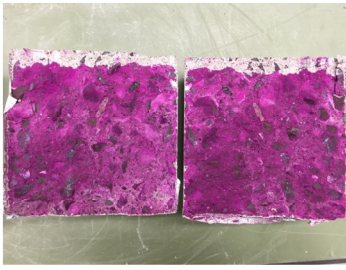
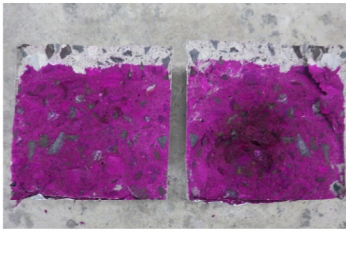
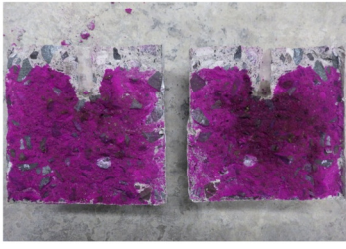
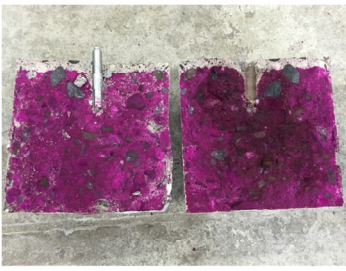
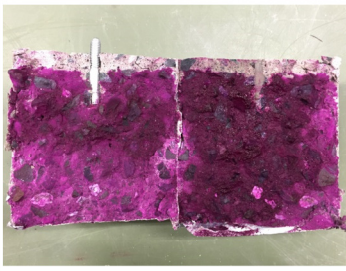

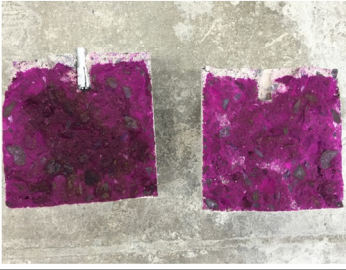
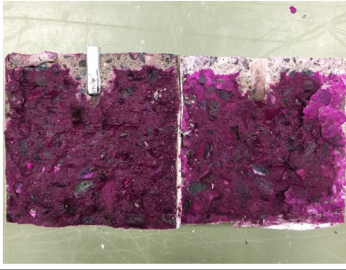
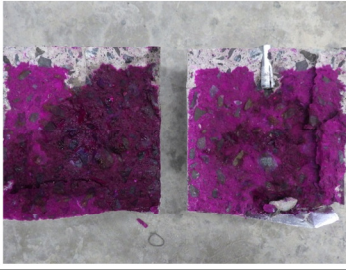
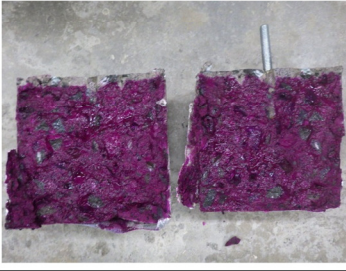

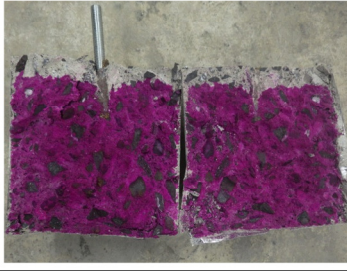
アンカー孔底からの中性化の進行が他の暴露面と比較して遅くなった原因としてアンカー試験体のコンクリート内部の水分の影響が考えられる¹³⁾。試験体コンクリートは前述の通り、材齢 4 週まで水中養生をした後、材齢 8 週まで温度 20°C 一定で気中養生した。そして、アンカーの施工と暴露面以外の面のシールは、材齢 7~8 週の間に行った。すなわち、促進中性化試験前に試験体コン

クリートにはシール前の試験体全面からの乾燥が 2~3 週間、シール、アンカー施工後の暴露面やアンカー孔壁からの乾燥が 1~2 週間なされたことになる。その期間では、途中シールをしたこともあり試験体コンクリートが十分に乾燥されず、アンカーを施工する試験体中央部では暴露面から試験体中心へ行くに従い湿度が高くなるような形で水分が残存していたと考えられる。従って、試験初期ではアンカー孔底より下の部分は暴露面表層部分と比べ CO₂ が浸透しにくかったと考えられる。そして、試験期間中に乾燥が進みアンカー孔底からの中性化も生

じたと考えられる。しかし、実験的には確認しておらず今後の課題とする。

これらのことから、促進中性化試験によって金属系アンカーの施工部はアンカー孔との隙間から CO₂ が浸入することでアンカー未施工部や接着系アンカーの施工部と比較してコンクリート表面から深い位置まで中性化が進行することは確認できたが、施工部と未施工部との進行速度の違いについては試験体の養生条件を変えるなど詳細な検討が必要であると考えられる。また、実構造物においては、環境条件によってコンクリート表面から内部に渡

表-5 アンカー試験体の中性化状況

	6週	13週	26週
穿孔なし			
穿孔のみ			
芯棒 打込み式			
内部コーン 打込み式			
接着系			

る乾燥状態は大きく異なることが指摘されており¹⁴⁾、促進試験と実環境との相関を評価することも必要である。

3.2 繰り返し塩水浸漬試験

アンカー試験体の内部鉄筋および比較用の健全鉄筋の発錆面積率と質量減少率を表-6に示す。各試験体の内部鉄筋の質量減少率を健全鉄筋のものと比較すると大差がないことから分かるように、生じた錆は微量だった。その中で発錆面積率を比較すると、芯棒打込み式試験体のうち、繰り返し塩水浸漬期間26週および促進中性化13週間の後、繰り返し塩水浸漬を13週間実施したものは他の試験体と比べて明らかに鉄筋腐食が進行したことが分かる。そして、写真-2に示すように内部鉄筋の中央部が腐食していたことから、アンカー孔底からの水分、塩分の侵入を原因とした腐食であると判断できる。このことから、金属系あと施工アンカーの施工部は未施工部と比較して外部からの劣化因子侵入を原因する内部鉄筋腐食が生じやすいことが確認できた。また、芯棒打込み式試験体において、繰り返し塩水浸漬期間26週に比

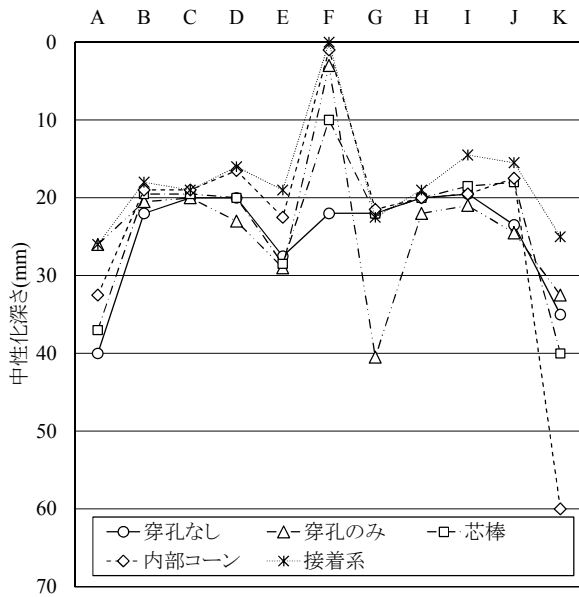


図-4 中性化深さ測定結果 (試験期間 26 週)

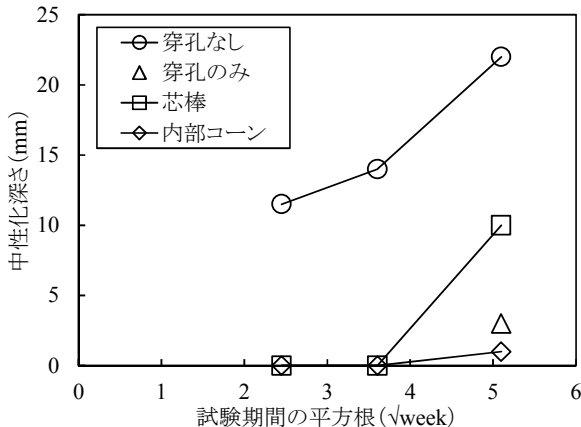


図-5 F点の中性化深さと試験期間の平方根との関係

べて促進中性化13週間の後、繰り返し塩水浸漬を13週間実施したものが発錆面積が大きい原因としては試験前の促進中性化が影響していることが考えられる。しかし、図-5に示すように13週間の促進中性化ではアンカー孔底からの中性化は鉄筋位置までは進行していない可能性があるため本実験の範囲では断定はできず今後の課題とする。

表-6 内部鉄筋の発錆面積率・質量減少率

種類	試験期間	発錆面積率(%)	質量減少率(%)
穿孔なし	13週	0.0786	0.81
	26週	0.0754	0.53
芯棒打込み式	13週	0.0795	0.79
	26週	0.6123	0.46
	中性化13週+塩水13週	1.6881	0.56
接着系	13週	0.0191	0.85
	26週	0.0186	0.57
健全鉄筋①	-	-	0.65
健全鉄筋②	-	-	0.80
健全鉄筋③	-	-	0.26



写真-2 内部鉄筋の発錆状況
(芯棒打込み式・中性化13週+塩水13週)

4. まとめ

本報では、あと施工アンカーの施工が母材コンクリートの中性化および内部鉄筋の腐食に及ぼす影響を実験的

に検討した。実験から得られた主要な知見を以下に示す。

- (1) 金属系アンカーの施工部はアンカー本体とアンカー孔との隙間から CO₂、水分、塩分などが浸入することにより、アンカー未施工部と比較して中性化や近傍の内部鉄筋の腐食が進行する可能性がある。
- (2) 接着系アンカーの施工部はアンカー本体とアンカー孔との間に充填される接着剤により劣化因子の侵入が抑制されるため、中性化、内部鉄筋腐食の進行は未施工部と大差はない。

上記より、本体とアンカー孔に隙間が生じる金属系アンカーを内部鉄筋の近傍に施工することは、局所的ではあるが鉄筋のかぶり厚さを減ずることとなり母材コンクリートの耐久性に悪影響を及ぼす可能性があることが明らかとなった。本実験の結果は、施工前の鉄筋位置、かぶり厚さの確認や施工後の劣化因子の侵入対策など母材コンクリートの耐久性を考慮した設計、施工の必要性を示唆している。このように、あと施工アンカーが施工された母材コンクリートの耐久性に関するデータを収集することができた。

一方、試験体のアンカーは下向きで施工しており、特に接着系アンカーについては施工方向などの施工条件の影響を評価する必要がある。また、実際のアンカー施工部では取付けられる物とコンクリートとの取合い部は防水や仕上げが施されている場合があるので、それらを再現した条件で検討する必要がある。加えて、アンカー施工部と未施工部との中性化進行速度の違いの検討や実環境における母材コンクリートの耐久性へ及ぼす影響を定量的に評価する必要がある、これらを今後の課題とする。

謝辞

本研究の一部は公益財団法人 LIXIL 住生活財団の研究助成を受けて実施した。また、実験には舞鶴工業高等専門学校、元学生 勢登雅也氏、同校学生 谷元一貴氏の協力を得た。末尾ながら記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 河村博之：ひびわれのあるコンクリート上のあと施工アンカーの耐力，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.18，No.2，pp.581-586，1996
- 2) 川口潤，国枝稔，牧田通：コンクリート強度及びひび割れがあと施工アンカーの耐荷性に与える影響，コンクリート工学年次論文集，Vol.37，No.2，pp.511-516，2015
- 3) メカニカルアンカーボルトの埋込み部の腐食が引

抜耐力に及ぼす影響，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.11-12，2012.9

- 4) 刈田祥彦，白坂孝平，橋高義典，松沢晃一：コンクリートに埋込まれたメカニカルアンカーボルトの腐食促進試験方法に関する検討，日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.431-432，2013.8
- 5) 安藤重裕，山田宏，中野克彦，濱崎仁，田沼毅彦：あと施工アンカーの引張クリーブ試験方法の基礎的評価，日本建築学会技術報告集，第 21 巻，第 47 号，pp.7-10，2015.2
- 6) 安藤重裕，中野克彦：接着系あと施工アンカーのクリーブ特性に関する検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.38，No.1，pp.1977-1982，2016
- 7) 堀内友雅，丸山久一，竹下輝，櫃本寿：隙間充填アンダーカットアンカーの疲労特性，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.16，No.2，pp.183-188，1994
- 8) 菅原寛文，中村光宏，井口重信，松田芳範：接着系あと施工アンカーの耐疲労性に関する実験的検証，コンクリート工学年次論文集，Vol.38，No.2，pp.637-643，2016
- 9) 松沢晃一，橋高義典，刈田祥彦：コンクリートに埋め込まれた金属系アンカーの引抜き特性に及ぼす高温加熱の影響，日本建築学会構造系論文集，第 80 巻，第 707 号，pp.29-37，2015.1
- 10) 大和征良，池田憲一：エポキシ樹脂系注入式接着系あと施工アンカーの火災時及び火災後の付着破壊強度に関する実験的研究，日本建築学会構造系論文集，第 80 巻，第 717 号，pp.1803-1809，2015.11
- 11) 富山禎仁，西崎到：接着系あと施工アンカーの耐アルカリ性評価方法に関する検討，土木学会論文集 A1（構造・地震工学），Vol.72，No.5，pp.II_46-II_55，2016
- 12) 内藤圭祐，山田宜彦，伊藤信，井口重信：接着系あと施工アンカーの耐アルカリ性に関する実験的検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.38，No.1，pp.1989-1994，2016
- 13) 阿部道彦，梶田佳寛，田中斉，柳啓，和泉意登志，友沢史紀：コンクリートの促進中性化試験法の評価に関する研究，日本建築学会構造系報告集，第 409 号，pp.1-10，1990.3
- 14) 白石聖，兼松学，内田貢，今本啓一：実構造物調査に基づく部位別の乾燥条件と中性化の関係，2013 年度日本建築学会関東支部研究報告集 I，pp.105-108，2014.2