

施工上の不具合を設けた屋外暴露実大模擬試験体の材齢7年における中性化試験報告

Outdoor exposure test of carbonation of actual-sized specimen with construction defects in 7 years

キーワード

中性化, 屋外暴露, ひび割れ, 打重ね, コールドジョイント

高村 光祐*, 森 隆貴*, 浦川 和也*

研究概要

コンクリートの中性化の進行には、環境条件が大きな影響を与えることが知られている。また、コンクリートの劣化現象の多くは外部からの劣化因子の侵入に起因するとされており、コンクリート構造物において、コールドジョイントや豆板、収縮ひび割れ等が劣化現象に与える影響も大きい。そこで本研究では、意図的に施工上の不具合を発生させた実大模擬試験体を作製し、7年間の屋外暴露を行い、環境条件や施工上の不具合が中性化に及ぼす影響を検討した。その結果、中性化の進行について、環境条件としては雨がかりの有無の影響が支配的であった。また、施工上の不具合の中性化への影響度は、収縮ひび割れ、打重ね、豆板、コールドジョイントの順に小さくなった。

ABSTRACT

It is known that environmental conditions have a great influence on the progress of concrete carbonation. Moreover, many of the deterioration phenomena of concrete are said to be caused by the intrusion of deterioration factors from the outside. Therefore, such as cold joint, honeycomb and shrinkage cracks have a great influence on deterioration phenomena in concrete structures. Therefore, in this study, we intentionally built an actual-sized specimen with construction defects and exposed it outdoors for 7 years. In this way, we investigated the effects of environmental conditions and construction defects on carbonation. As a result, the presence or absence of rainfall was the dominant environmental condition on the progress of carbonation. In addition, the degree of influence of the construction defects on carbonation was the smallest in order of shrinkage cracks, consolidated flesh concrete, honeycomb, and cold joints.

1 はじめに

鉄筋コンクリート造建築物の耐久性を評価するうえで、コンクリートの中性化は重要な要素の一つである。中性化の進行には、コンクリートの使用材料や強度性状、環境条件が大きな影響を与えることが知られている¹⁾。また、コンクリートの劣化現象の多くは外部からの劣化因子の侵入に起因するとされており、コンクリート構造物において、施工時の打重ね時間の遅れによるコールドジョイントや豆板、収縮に起因したひび割れ等が劣化現象に与える影響も大きい。

そこで本研究では、意図的にコールドジョイントや豆板、収縮に起因したひび割れといった施工上の不具合を発生させた実大模擬試験体(以下、不具合試験体)を作製し、7年間の屋外暴露を行い、環境条件や施工上の不具合が中性化に及ぼす影響について検討した。

2 研究概要

2.1 試験体概要

不具合試験体に用いたコンクリートの材料を表-1、調合を表-2に示す。設計基準強度30N/mm²および呼び強度33N/mm²、目標スランブ18±2.5cm、目標空気量4.5±1.5%

表-1 使用材料

材料	仕様
セメント(C)	普通ポルトランドセメント(密度3.16g/cm ³)
骨材	細骨材(S) 神奈川県相模原産砕砂(密度2.63g/cm ³)
	千葉県君津産山砂(密度2.55g/cm ³)
	粗骨材(G) 神奈川県相模原産砕石(密度2.66g/cm ³)
混和剤(Ad)	高性能 AE 減水剤 遅延型 I種
水(W)	工業用水

* 技術センター 建築研究部

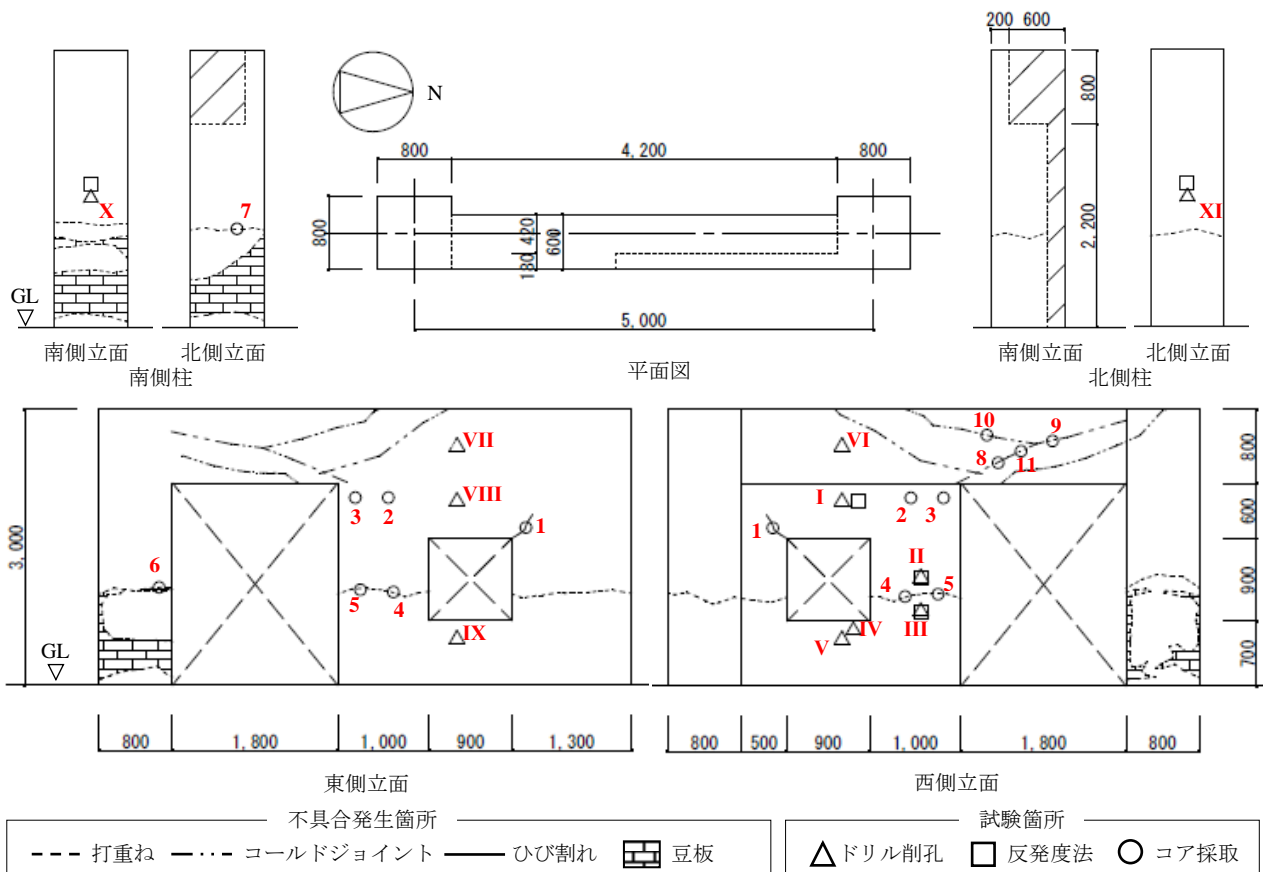


図-1 不具合試験体の概要

表-2 コンクリート調合

W/C (%)	目標スランプ (cm)	目標空気量 (%)	s/a (%)	かさ容積 (m ³ /m ³)	単位量(kg/m ³)				
					W	C	S	G	Ad
48.5	18±2.5	4.5±1.5	50.6	0.555	170	351	623	886	3.51

表-3 不具合の再現方法

不具合	再現方法
打重ね部	打重ね時間120分
コールドジョイント	打重ね面までパイプを挿入しない
豆板	柱天端(GL+3000mm)からのコンクリート打込み ウェットスクリーニングした骨材の投入
収縮ひび割れ	開口隅角部に開口補強なし

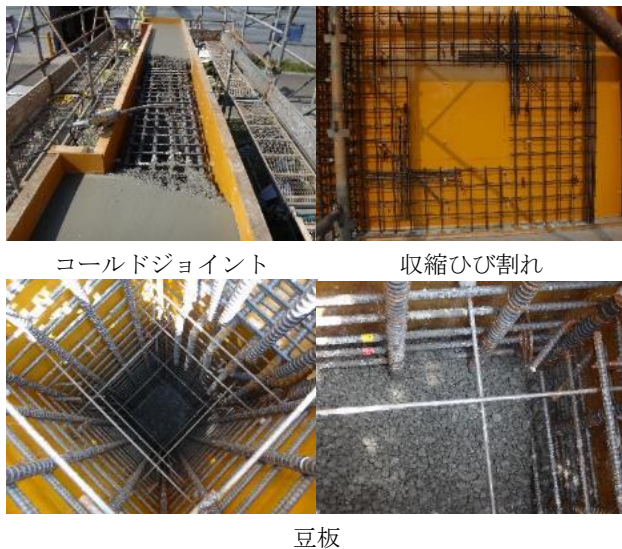


写真-1 不具合の再現状況

の調合とし、2014年8月1日に打設を行った。なお、打設日の天候は晴れ、最高気温は33.4℃であった。フレッシュコンクリートの試験結果は、スランプが16.5cm から18.0cm、

空気量が3.5%から4.5%、コンクリート温度が31.0℃から33.0℃といずれも目標値を満足した。また、標準養生した圧縮強度は、材齢7日で34.4N/mm²、材齢28日で41.1N/mm²であり、十分な強度発現性が得られた。せき板の脱型は材齢3日で行った。

不具合試験体の概要を図-1、不具合の再現方法を表-3、不具合の再現状況を写真-1、不具合試験体の全体像を写真-2に示す。配筋は、かぶり厚さを50mmとし、開口部に開口補強筋を配筋した。ここで、開口隅角部の2箇所に開口補強筋を配筋せず、乾燥収縮によるひび割れを誘発させた。打込みは、3層に分けて打ち上げ、1層目と2層目の間で、打重ね時間を JASS5に記されている外気温25℃以上での打重ね時間間隔の限度である120分として、打重ね部の性状を確認した。打込み高さは、1層目を柱・壁の中腹までとし、2層目で梁下まで打ち上げた。ここで南側の柱では、1層目のコンクリートを柱天端(GL+3000mm)から投入し、北



東面



西面

写真-2 不具合試験体の全体像

表-4 コア供試体の要因

番号	雨がかり	方位	不具合	タイプ
No.1	有無	東西	収縮ひび割れ	貫通
No.2			不具合なし	—
No.3				
No.4				
No.5			打重ね部	
No.6	有	東	豆板	非貫通
No.7	無	北		
No.8	有	西	コールドジョイント	
No.9				
No.10				
No.11				

側の柱では、ウェットスクリーニングした骨材を投入することで豆板を発生させた。また、2層目打設時に梁の中腹まで打ち上げ、コンクリートが梁側に流れ出るようにした。その後、3層目を打ち上げる際に締固めを調整し、梁にコールドジョイントを発生させて打設完了とした。

屋外暴露試験は神奈川県厚木市で実施し、雨がかりのある面(以下、雨あり面)と壁および柱で梁下となることで雨がかりしない面(以下、雨なし面)で区別した。

2.2 試験項目

図-1に示す位置で、ドリル法による中性化深さ測定および JIS A 1155:2012に準拠した反発度法による圧縮強度測定、コア供試体の採取を行った。ドリル法による中性化深さ測定は、健全部を対象に雨がかりの有無や方位、高さといった環境条件の異なる点を対象に行った。反発度法による圧縮強度の測定は、ドリル法による中性化深さ測定を行った箇所の代表点の近傍で行った。表-4にコア供試体の採取位置に作用する因子を示すが、コア供試体の採取は、不具合発生箇所を対象とした。ここで、コア供試体 No.1から No.5は壁面を貫通してコアを採取しており、雨あり面と雨なし面の両条件で中性化の測定を行った。コア供試体 No.6から No.11は、柱および梁から採取しており、片面の

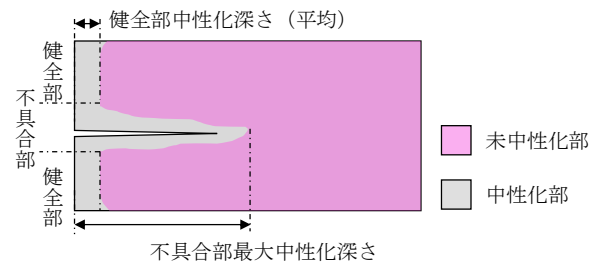


図-2 中性化深さの測定箇所

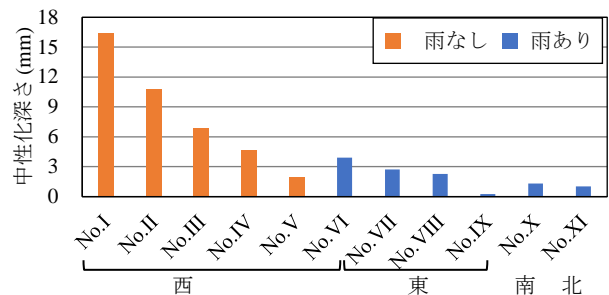


図-3 ドリル法による中性化深さ測定結果

みで測定を行った。

中性化深さの測定は、不具合面の鉛直方向にコア供試体を割裂し、フェノールフタレイン溶液の塗布を行った。また、中性化深さの測定箇所を図-2に示すが、外気に接していた面を対象に不具合部における最大深さと不具合部周辺を除いた健全部の中性化深さを測定した。また、コア供試体から実測した中性化深さをもとにルート t 則にしたがって中性化速度係数を算出した。

3 結果および考察

3.1 微破壊および非破壊試験の結果および考察

ドリル法による中性化深さ測定結果を図-3に示す。中性化深さは、No. I から No. Vの雨なし面で1.95mm から16.45mm であり、測定位置がGLから高いほど中性化深さが大きい傾向にある。これはGLから高い、つまり梁下に近いほど、地面からの跳ね返りや風による雨がかりの可能性が低く、乾燥している期間が長くなるためと考えられる。

一方で、No.VIから No.XIの雨あり面では、中性化深さが0.25mm から3.90mm であり、高さや方位と中性化深さに何らかの関係性はみられない。

ドリル法による中性化深さとその近傍で測定した反発度法から推定した圧縮強度の関係を図-4に示す。推定圧縮強度は、41.9N/mm²から48.0N/mm²であり、この範囲で圧縮強度と中性化に何らかの関係性はみられない。

以上のことから、中性化の進行に関わる環境条件としては、雨がかりの有無が支配的であり、その他の環境条件は、中性化の進行への寄与が小さいと考えられる。

3.2 コア供試体の試験結果および考察

3.2.1 雨がかりの有無による比較

No.1から No.5の健全部における中性化深さ測定結果の雨がかりの有無による比較を図-5、雨がかりの有無による比較の代表点として、No.2の中性化状況を写真-3に示す。中性化深さは、雨あり面では0.78mm から4.00mm であり、雨なし面では7.09mm から12.82mm であった。ここで、雨なし面では、No.2およびNo.3と比較してNo.4およびNo.5の中性化深さが小さく、GL からの高さによる中性化深さに違いがみられる。これは、3.1で考察したようにGL からの高さによる雨がかり程度の差による違いであると考えられる。

また、ルート t 則により算出した中性化速度係数の平均は、雨あり面で0.84mm/√year、雨なし面で3.91mm/√year となった。ここで、雨がかりの有無による差は、雨がかりなしの条件が雨がかりありの条件の4.6倍程度となっている。一方で、鉄筋コンクリート造建築物の耐久設計指針・同解説では、雨がかりの無い屋外を雨がかりがある場合の1.6倍としている。本実験における雨がかりの有無による差は、最小である No.4でも2.9倍程度であり、大きく異なる結果となった。

3.2.2 不具合の有無による比較

不具合がある点から採取したコア供試体の中性化深さを図-6に示す。ここから、各不具合における中性化への影響を考察していく。

乾燥収縮に起因したひび割れが発生している No.1の中性化状況を写真-4に示す。収縮に起因したひび割れでは、雨なし面の不具合部でくさび状に中性化がみられ、くさびの先端から対面まで貫通している。また、ひび割れに沿って割裂すると、ひび割れにしたがって面的に中性化が進行し、貫通していることがわかる。

打重ね部となる位置の代表点として、No.5の中性化状況を写真-5に示す。打重ね部では、収縮に起因したひび割れと同様に雨なし面でくさび状の中性化がみられた。一方で、雨あり面では、くさび状の中性化の進行はほとんどみられていないが、これは雨がかりの影響で中性化が進行していないためであり、中性化材齢が進むにしたがって、くさび状に中性化域が拡張していくと考えられる。打重ね面

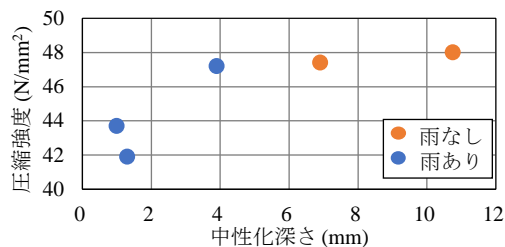


図-4 圧縮強度と中性化深さの関係

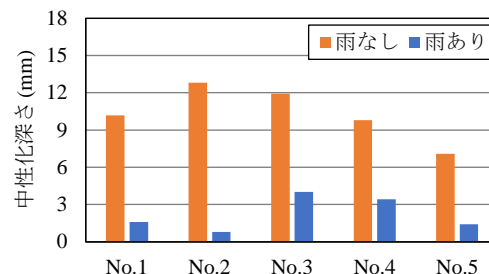


図-5 雨がかりの有無による中性化深さの比較



写真-3 No.2 の中性化状況

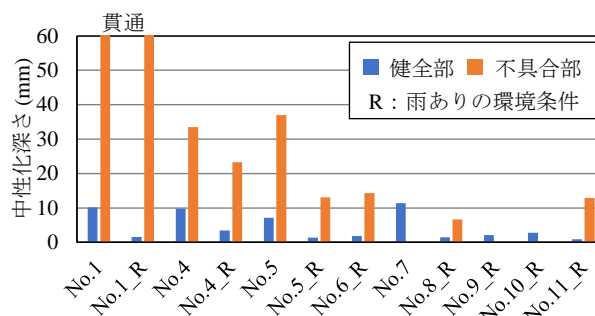


図-6 不具合部と健全部の中性化深さの比較

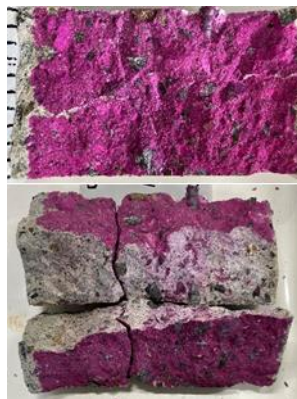


写真-4 No.1 の中性化状況 (収縮ひび割れ)

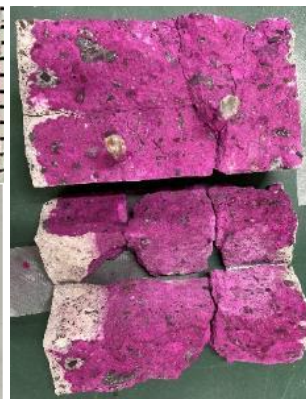


写真-5 No.5 の中性化状況 (打重ね部)

に沿って割裂した状況をもみても、雨なし面ではくさびの先端まで面的に中性化しているのに対し、雨あり面では表面からの中性化が進行していない。

豆板の発生している No.6 の中性化状況を写真-6 に示す。豆板部では、骨材が露出している箇所が中性化の進行がみられた。また、中性化深さは健全部で 1.8mm、不具合部で 14.26mm である。ここで、豆板となった骨材の界面からの中性化深さは、5.20mm 程度あり、健全部より中性化が進行していた。

コールドジョイントとなる位置の代表点として、No.8 の中性化状況を写真-7 に示す。コールドジョイント部から採取したコア供試体には、いずれも打重ね跡がみられたが、No.7 および No.9, No.10 では、不具合に起因して中性化が進行している箇所がみられなかった。また、図-7 に中性化速度係数の比較を示すが、雨あり面における平均は、健全部の $1.75 \text{ mm}/\sqrt{\text{year}}$ に対して、収縮に起因したひび割れ部で $38.30 \text{ mm}/\sqrt{\text{year}}$ 、打重ね部で $18.20 \text{ mm}/\sqrt{\text{year}}$ 、豆板部で $14.26 \text{ mm}/\sqrt{\text{year}}$ 、コールドジョイントで $9.75 \text{ mm}/\sqrt{\text{year}}$ となり、コールドジョイント部では、他の不具合部と比較して、中性化が進行していない結果となった。

以上のことから、本実験における施工上の不具合の中性化への影響度は、その発生状況で大きく異なり、収縮に起因したひび割れ、打重ね部、豆板、コールドジョイントの順に小さくなった。この原因について、収縮に起因するひび割れは、部材を貫通するのに対し、打重ねやコールドジョイントは、打設時に発生する不具合であり、セメントの水和の進行により部材中心では健全な状態が維持される。このように表面のみにあられる不具合であるので、中性化の進行が抑えられたと考えられる。一方で、本実験ではみられていないが、表面のみの不具合であっても、鉄筋の近傍にあることで耐久性の低下につながると考えられる。

4 おわりに

本実験で得られた結果を以下にまとめる。

- 1) 中性化の進行には、環境条件として雨がかりの有無の影響が大きく、その他の条件は、中性化の進行への寄与は小さいと考えられた。

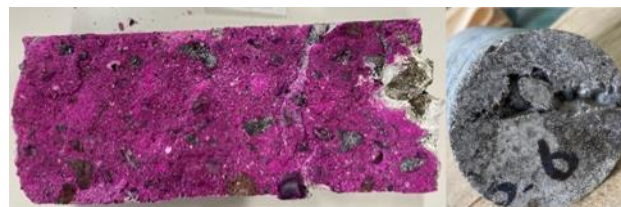


写真-6 No.6 の中性化状況 (豆板)



写真-7 No.8 の中性化状況 (コールドジョイント)

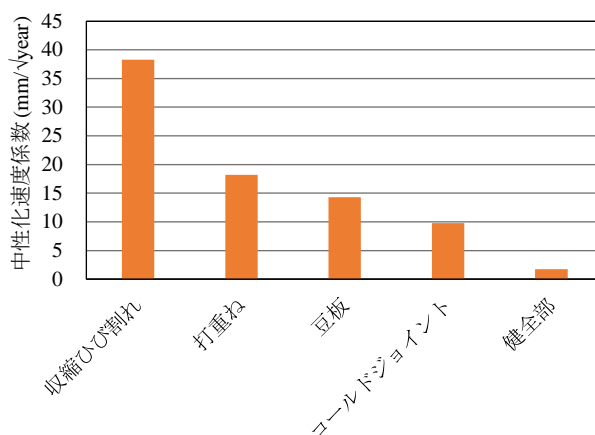


図-7 中性化速度係数の比較 (雨がかり面)

- 2) 本実験の場合、施工上の不具合の中性化への影響度は、その発生状況によって大きく異なり、収縮に起因した貫通ひび割れ、打重ね部、豆板、コールドジョイントの順に小さくなった。

参考文献

- 1) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建築物の耐久設計指針・同解説，2016.7.