

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 8 月 9 日現在

機関番号：82115

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2016

課題番号：25820278

研究課題名(和文)鉄筋コンクリートの中酸化・鉄筋腐食に及ぼすジャンカの影響に関する研究

研究課題名(英文)Study on the influence of bean board on neutralization and reinforcement corrosion of reinforced concrete

研究代表者

土屋 直子(Tsuchiya, Naoko)

国土技術政策総合研究所・建築研究部・主任研究官

研究者番号：60646636

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、鉄筋コンクリート部材において、劣化抵抗性が低い可能性が高い内部欠陥の豆板(ジャンカ)が、劣化速度に及ぼす影響について把握することを目的として、模擬試験体を用いて中性化促進実験および吸水乾燥繰り返し実験を行った。その結果、豆板の存在により中性化が深さ方向に対して空間的・時間的に不均質に進行すること、本研究の範囲においては多くが1.0倍から2.5倍程中性化が速くなり、5倍以上となるものも確認されたこと、ばくろ面側より先に内部に存在する豆板部の中性化が進行することが確認された。また、豆板が表層より内側にあるほど、吸水乾燥繰り返し時の含水率の変動が大きくなることが観察された。

研究成果の概要(英文)：The aims of this research is to grasp the influence of the internal defect defective bean board, which is more likely to promote degradation in the reinforced concrete member, neutralization acceleration experiment and water absorption drying repeated experiment were carried out by using simulated test specimens.

As a result, neutralization progressed spatially and temporally inhomogeneously with respect to the depth direction. A lot specimens promote neutralization 1.0 to 2.5 times faster than standard one, there were also those which became 5 times or more, in this research. Also, it was confirmed that the neutralization proceeded ahead of the bean board which exists inside more. In addition, it was measured that the water content at the time of repetitive water absorption drying tends to become larger as the bean board is located inside than the surface layer.

研究分野：建築材料

キーワード：コンクリート 豆板 中性化 吸水乾燥繰り返し 不均質

1. 研究開始当初の背景

近年、鉄筋コンクリート造建築物の品質管理の調査手法として、非破壊でコンクリート内部の欠陥を検査する手法が開発されている。これらの方法により、表面からの目視では見えないコンクリート内部の豆板（ジャンカ）や空隙、ひび割れなどの検出・評価が可能となっており^{例えば 1)}、実構造物における調査で内部欠陥が報告されている²⁾。建築ストックの有効活用に向け、今後はこれら内部の欠陥が測定された際には、修復をする等の措置が必要か否かの判断が必要である。

既往の研究では、コンクリートにある空隙あるいは損傷が、劣化要因となる物質の透過性を大きくすることを示している³⁾。しかしながら、豆板など内部に存在する欠陥については、ひび割れ同様に物質透過性が非常に高くなるため劣化の開始時期が早くなる可能性があるものの、中性化及び鉄筋腐食について研究している例はなく、また法や学会指針等での制限もない。

また一方で、空隙が大きい際には保水性能が低下すること^{4) 5)}、及び鉄筋表面の水の有無が大きく鉄筋腐食速度に関わっていることから、豆板の存在により鉄筋腐食の発生位置や程度に差が生じることが予想される。

2. 研究の目的

建築構造物の主要構造材料として主に使用される鉄筋コンクリートの劣化に及ぼす豆板の影響について把握することを目的とする。

特に、どのような豆板がどのような中性化及び鉄筋腐食劣化を及ぼすかについて明らかにするため、豆板の容積、密度、鉄筋との位置関係や降雨環境か否を水準として実験研究を行った。

3. 研究の方法

3.1 試験体

(1) 試験体の作成方法

モルタル部を流出させることにより密度を低下させたコンクリートを予め作成し、そ

れを所定の位置に埋設してコンクリートを打設し、模擬的な豆板を有すコンクリート試験体を作成した。

試験体は、打設後1日で脱型、その後6日間水中養生し、その後28日間気中養生を行った。標準部の調合はW/C50%、単位水量180、細骨材率48%である。各水準2個作成した。各シリーズの試験体No.と仕様を表1に、試験体のイメージを図1に示す。豆板の位置、かさ密度、容積を要因水準として設けた。詳細仕様を次に示す。

(a) 豆板のかぶり位置に関する試験体

豆板の表面からのかぶり厚さを10mm、20mm及び50mmに位置した。豆板のかさ密度は後述で示す $\alpha 2$ とし、豆板の厚さは10mmとした。

(b) 豆板のかさ密度に関する試験体

豆板を模擬した部分の密度は、次に記すようにして $\alpha 1, 2, 3$ として差を設けた。写真1に豆板模擬部コンクリートの写真を示す。

$\alpha 1$: 標準部のコンクリートを15秒間バイブレータにより5mmふるいでふるい、モルタル部を流出させた。硬化後の容積密度は、 $1.86(\text{g}/\text{cm}^3)$ であった。

$\alpha 2$: 標準部のコンクリート調合における粗骨材を2倍にした。硬化後の容積密度は、 $1.54(\text{g}/\text{cm}^3)$ であった。

$\alpha 3$: $\alpha 2$ のものを35秒間バイブレータにより5mmふるいでふるい、モルタル部を流出させた。硬化後の容積密度は、 $1.50(\text{g}/\text{cm}^3)$ であった。

豆板は表面から10mmに位置し、厚さは10mmとした。

(c) 豆板容積に関する試験体

厚さ100mmのコンクリートに対して、豆板の厚さが5, 10, 30mmとし、中央部に配置した。豆板の密度は $\alpha 2$ とした。

3.2 中性化促進試験

試験体のイメージを図1(a)に示す。上記のコンクリート養生後に試験体の4面をエポキシシーリングによりシーリングし、中性化促進試験は、 20°C 、RH60%、 CO_2 濃度5%気中で行った。促進材齢8、12、14、16、20及び24週

表1 試験体 No. と仕様

No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
表面からの豆板位置 (mm)	10	10	20	20	50	50	10	10	10	10	10	10	46	47	41	43	35	-
豆板厚さ (mm)	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	5	5	10	10	30	30
豆板かさ密度	$\alpha 2$	$\alpha 2$	$\alpha 2$	$\alpha 2$	$\alpha 2$	$\alpha 2$	$\alpha 3$	$\alpha 3$	$\alpha 2$	$\alpha 2$	$\alpha 1$	$\alpha 1$	$\alpha 2$	$\alpha 2$	$\alpha 2$	$\alpha 2$	$\alpha 2$	$\alpha 2$

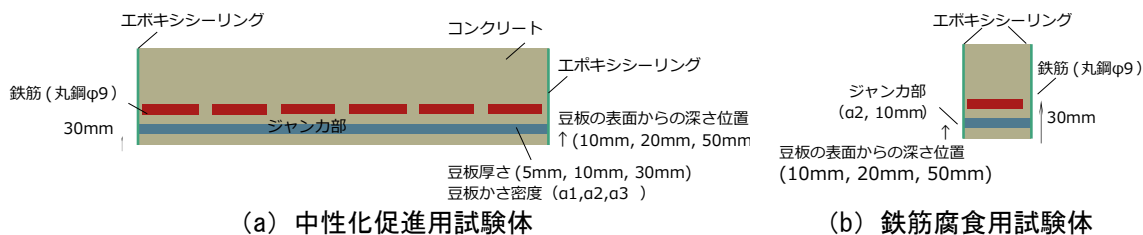


図1 試験体のイメージ

の数回について測定を行った。中性化深さ測定は、所定の材齢においてコンクリートを割裂し、割裂面に1%フェノールフタレイン液を噴霧し、5か所の測定を行った。

3.3 腐食確認実験

20°C RH60% CO₂ 5% 濃度環境下で1年以上存置して十分に中性化させた後、次に示すサイクルで気中乾燥あるいは吸水・乾燥繰り返し環境に曝した。

(a) 乾燥状態から開始。10mm 深さの吸水を1日、20°C RH60% 気中乾燥を6日の繰り返し。

(b) 相対含水率約20%から開始。10mm 深さの吸水を85日。

(c) 相対含水率約60%から開始。20mm 深さの吸水を7日、20°C RH60% 気中乾燥を7日の繰り返し。

(d) 20°C RH60% CO₂ 5% 濃度環境下で気中曝露

(a) (b) および (c) については、吸水乾燥繰り返し曝露開始後4ヶ月後および12ヶ月後に、また (d) については、気中曝露後2年後に、コンクリート試験体をカットし、目視により確認した。

試験体のイメージを図1 (b) に示す。鉄筋位置はかぶり厚さ30mmとし、模擬豆板は表層から10mm、20mm、50mm位置部分に10mm厚さのものを位置させた。

また併せて、重量測定により含水率の変化を測定した。

4. 研究成果

4.1 中性化深さ

フェノールフタレイン溶液噴霧後の試験体の様子について写真2に示す。写真2に示すように、中性化暴露表面からの中性化進行とは別で、豆板が位置する中央部が先行して中性化していることが観察された。

促進材齢12週における中性化深さの測定5か所の平均値および最大値の結果を図2に示す。中性化深さの測定は表面から連続して進行した中性化の深さを表している。

図2より、平均値と最大値の差が小さいものも若干みられるものの、差が5mm以上となるものも多く、試験体によっては10mm以上の差があるものもあり、中性化の進行が表面から横並びで均質に進行しないことがわかる。また、全体の傾向として、豆板が存在する側のほうが中性化の進行が大きくなっていることもわかる。この傾向は、中性化深さが豆板部に到達する以前から観察される現象であり、平均値を比較すると、多くが1.0倍から2.5倍程度中性化深さが大きくなっており、5倍以上のものも観察された。

一方で、かさ密度や豆板厚さによる中性化進行への影響は実験結果からは特定されなかった。これは上記の中性化進行の不均質さに差異が埋もれたため特定ができなかったわけであり、本研究の範囲でのかさ密度および豆板厚さによる中性化進行への影響以上に、豆板の存在自体による中性化進行のばらつきが大きいといえる。このばらつきの原因

としては、空気の抜け方、通り道が、豆板の存在により偏りが生じたためと考えられる。また、図2による表面からの中性化深さはほぼ同じである試験体でも、写真2より、内部の豆板部での中性化面積では豆板厚さが大きいほど中性化進行が大きいことが観察された。

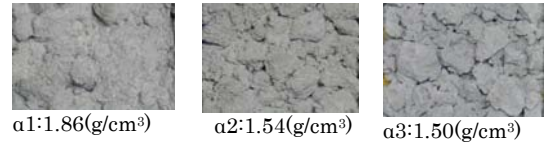
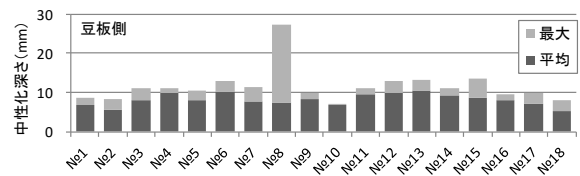
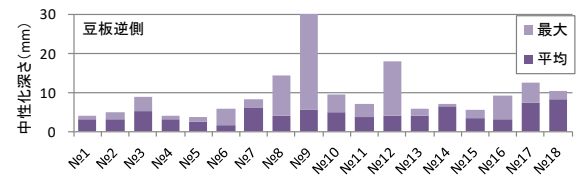


写真1 模擬豆板部



(a) 豆板側



(b) 豆板逆側

図2 促進材齢12週の平均・最大中性化深さ

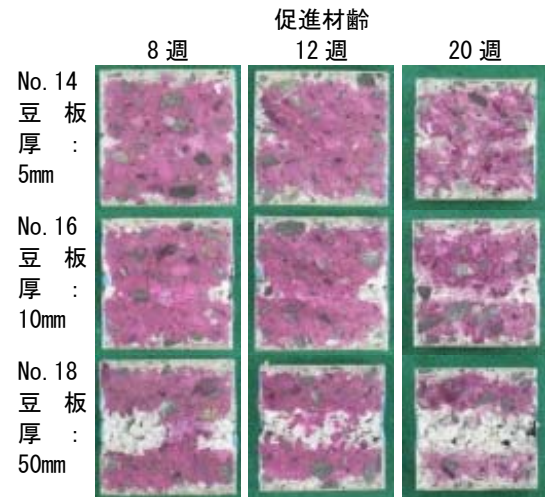


写真2 かぶり厚さに対する豆板厚さに関する試験体のフェノールフタレイン溶液噴霧後の様子

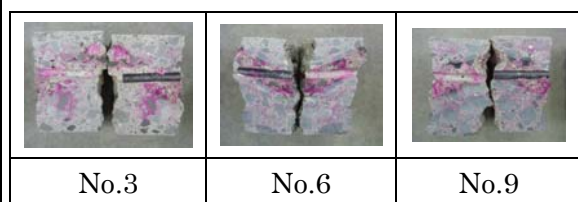


写真3 試験体カットによる試験体断面の例

4.2 鉄筋腐食の確認

写真3に試験体カットによる試験体断面の例(環境(d)のNo.3,6,および9)を示す。

いずれも目視による鉄筋腐食は確認されなかった。本研究での腐食環境(中性化、水分、酸素の程度)では、1年では鉄筋腐食の発生はしないといえる。

4.3 含水率の変化

吸水・乾燥繰り返し曝露時のコンクリートの相対含水率の変化の一例を図3に示す。なお相対含水率は、次式により示される。

$$\text{相対含水率 } R = (W - W_d) / (W_s - W_d)$$

W: 試験体重量(g)

W_d: 乾燥時の試験体重量(g)

W_s: 飽和潤湿時の試験体重量(g)

図3より、曝露環境(a)における1サイクルの変動は、豆板が表面から10mm位置のNo.1, 9および10については、0.1以下、表面から50mm位置のNo.5および6については、0.1以上、また、曝露環境(c)においては、No.1, 9および10については約0.1、No.5および6については、約0.2であることが分かる。

曝露環境および豆板の表層からの位置ごとに、相対含水率の変動の幅をまとめた表を、表2に示す。豆板の位置が表層から遠いほど含水率の変動の幅が大きくなる傾向があることがわかる。これは、密度が粗い豆板の保水能力が低いためと考えられ、従って鉄筋腐食の原因となるコンクリートの含水率は豆板の位置により異なることが示唆される。

4.4 まとめ

研究成果について下記にまとめる。

- 1) 豆板の存在により中性化が深さ方向に対して空間的・時間的に不均質に進行する。本研究の範囲で、その不均質さは1mmから10mm程度を示し、これは豆板の容積、密度、鉄筋との位置関係による中性化進行への影響より大きい。
- 2) 本研究の範囲においては、多くが豆板の存在により1.0倍から2.5倍程中性化が速くなり、5倍以上となるものも確認された。
- 3) 内部に存在する豆板部が表層に近い標準部のコンクリートより先に中性化することが観察された。
- 4) 豆板が表層より内側にあるほど、吸水・乾燥繰り返し時の含水率の変動が大きくなりやすいことが測定された。

引用文献

- 1) 吉田幸司他：コンクリート工学年次論文集, Vol.24, No.1, p.1623-1628, 2002
- 2) 岩野聡史他：コンクリート工学年次論文集, Vol.24, No.1, p.1521-1526, 2002
- 3) 土屋直子他：コンクリート工学年次論文集, Vol.32, No.1, p.683-688, 2010
- 4) 丸山一平他：日本建築学会大会学術講演梗概集, A-1, p.1143-1144, 2007

5) 篠田裕樹他：日本建築学会大会学術講演梗概集, A-1, p.1233-1234, 2009

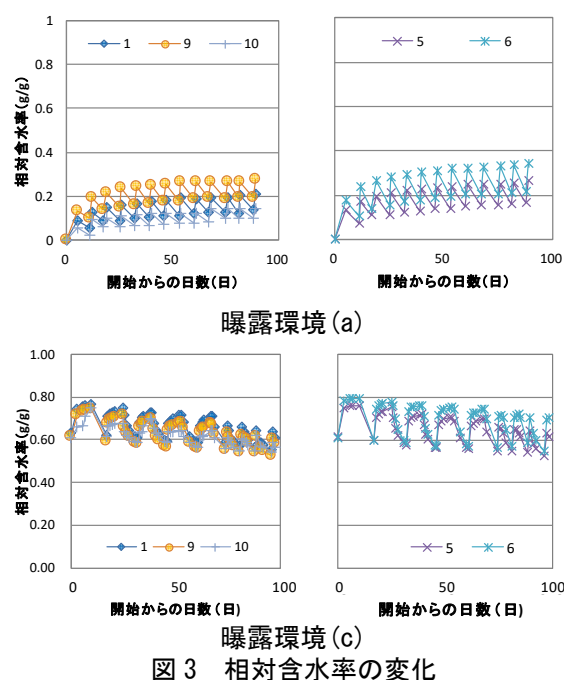


図3 相対含水率の変化

表2 相対含水率の変動の幅

	豆板の位置 (表層からの距離)		
	10mm	20mm	50mm
曝露環境(a)	0.10以下	約0.10	0.10以上
曝露環境(b)	約0.35	約0.25	約0.30
曝露環境(c)	約0.10	約0.15	約0.20

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 3件)

①土屋直子, 鉄筋コンクリートの中性化進行に及ぼす豆板の影響に関する実験的検討, 第69回セメント技術大会要旨, 査読なし, vol.69, 2015, 978-4-88175-129-9

② Naoko tsuchiya, Tadatsugu Kage, Hiroyuki Tanano, Evaluation of carbonation resistivity of blast furnace slag concrete in case curing differ, SCMT4conference proceeding, 査読あり, vol.3, 2016, 1462-1468

③Naoko Tsuchiya, experimental study on neutralization progression and water absorption drying repeatedly of concrete with bean board, the proceeding of the 2nd ACF symposium 2017 innovations for sustainable concrete infrastructures, 査読あり,

〔学会発表〕(計 2件)

①土屋直子, 鉄筋コンクリートの中性化進行に及ぼす豆板の影響に関する実験的検討, 第69回セメント技術大会要旨, 2015

② Naoko tsuchiya, Evaluation of

carbonation resistivity of blast furnace slag concrete in case curing differ, the 4th international conference in sustainable construction materials and technologies

6. 研究組織

(1) 研究代表者

土屋 直子 (TSUCHIYA Naoko)
国土技術政策総合研究所・建築研究部・主任研究官
研究者番号：60646636