

中性化の影響に着目した ACI 318 におけるかぶりの設計基準の変遷の調査

京都大学大学院 正会員 ○横山 勇気
名古屋工業大学大学院 正会員 吉田 亮
東京大学生産技術研究所 フェロー会員 岸 利治

1. 目的

2017 年版のコンクリート標準示方書の改訂により、中性化のみならず水分浸透の観点からも鋼材腐食に対する耐久性照査が行えるようになった。この状況下において、海外の仕様書におけるかぶりや中性化に対する考え方を把握することは、さらに合理的な耐久性設計を実現するうえで重要であると考えられる。そこで、本研究ではアメリカの仕様書におけるかぶりの設計の変遷を、主に中性化に着目して整理した。

2. 調査対象とした仕様書

318 Historical ACI Building Code Requirements (1908-2005) に収録されている全仕様書と ACI 318-2005, 2008, 2011, 2014, 2019 に加え、各仕様書中のかぶりや中性化に関連する参考文献を調査した。

3. かぶりに関連する仕様の変遷

表-1 にかぶりの設計値の変遷に関連する出来事の年表を示す。1900 年初頭、アメリカではコンクリートの施工や製造に関する規準が無いことを理由に、建設用材料としてコンクリートは否定的に捉えられていた。この問題を払拭すべく、1905 年に ACI の前身となる National Association of Cement Users (NACU) が設立された。翌年、1906 年にサンフランシスコ大震災が発生した。火災による被害の影響が考慮され、1908 年に NACU により発刊された仕様書では、耐火性の観点から最小かぶりが定められた¹⁾。1913 年、NACU から American Concrete Institute (ACI) へと組織名が変更された。1927 年に発表された仕様書では、耐火性以外にも地中構造物の場合、1936 年の改定では、地面に接する場合や、屋内外へ暴露された場合を区別したうえで、最小かぶりの設計基準が定められた^{2,3)}。

表-1 かぶりの設計値の変遷に関連する出来事の年表

年	出来事
1905	NACU 設立
1906	サンフランシスコ地震発生
1908	Report of the committee on laws and ordinances 発刊
1913	NACU から ACI へと名称変更
1927	Tentative Building regulations for the use of reinforced concrete 発刊
1936	Building regulations for reinforced concrete 発刊
1957	Committee 201 設立
1961	RILEM のシンポジウムにて西博士が発表
1963	ACI 318-63 発刊
1968	ICCC にて濱田博士が発表
1985	ACI 222 の委員会報告書発刊
1989	ACI318-89 発刊

1957 年には、耐久性に着目した委員会 (Committee 201) が ACI で設立された。本委員会では、耐久性に関わる要因として、凍害、凍結防止剤の散布、化学抵抗性、摩耗、反応性骨材、鋼材腐食に着目している。中性化は鋼材腐食を助長させる一つの要因として挙げられているものの、本委員会の報告書では、締固めや養生が適切に行われたコンクリートであれば、中性化は深くまで進行せず、透過性が高い場合やポーラスコンクリート、かぶりが十分に確保できていない場合のみ中性化による鋼材腐食が発生すると想定されている⁴⁾。中性化による鋼材腐食が重要視されなかった理由の一つとして、1961 年の RILEM のシンポジウムにおける西忠雄博士の発表が挙げられる⁵⁾。ここで西博士は、濱田稔博士により提案された濱田式が日本の建築分野における鉄筋コンクリート構造物のかぶりの設計値の根拠となっていることや、岸谷孝一博士の研究を中心に、日本の中性化に関する研究内容を紹介している。その中には、岸谷博士が提案した水セメント比 (W/C)、中性化深さ、材齢の関係の図 (図-1) が含まれている。図中の材齢が 100 年時点に着目すると、W/C が 70% の場合であっても中性化深さは 43mm であり、W/C が 44% の場合においては、中性化深さは 10mm を超えない。すなわち、

1957 年には、耐久性に着目した委員会 (Committee 201) が ACI で設立された。本委員会では、耐久性に関わる要因として、凍害、凍結防止剤の散布、化学抵抗性、摩耗、反応性骨材、鋼材腐食に着目している。中性化は鋼材腐食を助長させる一つの要因として挙げられているものの、本委員会の報告書では、締固めや養生が適切に行われたコンクリートであれば、中性化は深くまで進行せず、透過性が高い場合やポーラスコンクリート、かぶりが十分に確保できていない場合のみ中性化による鋼材腐食が発生すると想定されている⁴⁾。中性化による鋼材腐食が重要視されなかった理由の一つとして、1961 年の RILEM のシンポジウムにおける西忠雄博士の発表が挙げられる⁵⁾。ここで西博士は、濱田稔博士により提案された濱田式が日本の建築分野における鉄筋コンクリート構造物のかぶりの設計値の根拠となっていることや、岸谷孝一博士の研究を中心に、日本の中性化に関する研究内容を紹介している。その中には、岸谷博士が提案した水セメント比 (W/C)、中性化深さ、材齢の関係の図 (図-1) が含まれている。図中の材齢が 100 年時点に着目すると、W/C が 70% の場合であっても中性化深さは 43mm であり、W/C が 44% の場合においては、中性化深さは 10mm を超えない。すなわち、

キーワード 耐久性照査, かぶり, 中性化, ACI

連絡先 〒615-8245 京都府京都市西京区御陵大原 1-30 イノベーションプラザ 202

京都大学大学院 工学研究科 社会基盤工学専攻 インフラ先端技術産学共同講座 TEL075-383-2855

一般的な W/C の範囲では、かぶりを適切に設定することで、中性化に対する抵抗性は十分確保できるといえる。加えて、中性化による鋼材腐食が世界各国では重要視されていない中でも、日本では重要な研究対象であると西博士は主張しており、理由として、西博士の卒業研究のテーマでもあった鉄筋コンクリート製の煙突を例として挙げている。煙突の場合、二酸化炭素のみならず、二酸化硫黄や熱などの影響により、通常的环境下に比べ中性化による腐食が生じやすい環境であり、発錆による鉄筋とコンクリートの付着の低下により、構造体の強度が減少する。その条件に加えて、1934 年の室戸台風で発生した強風により多くの煙突が被害を受けたことから、日本では中性化による鋼材腐食が重要な研究課題であると説明している⁵⁾。RILEM のシンポジウムには、ACI Committee 201 の委員長である Woods Hubert や他の委員も参加していたことから、報告書を作成するにあたり、西博士の発表内容が考慮されことは想像に難くない。

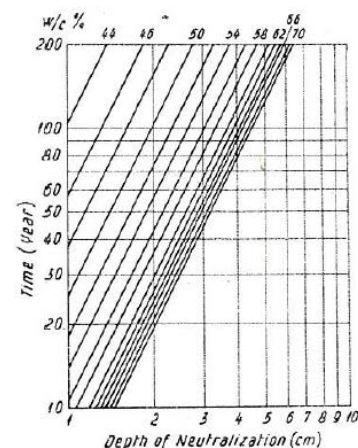


図-1 水セメント比、中性化深さ、材齢の関係⁵⁾

1963 年には、ACI 318 においても周辺環境がコンクリート構造物の耐久性に及ぼす影響が考慮され始め、厳しい腐食環境下の場合は、かぶりを適切に増やす趣旨の文言が追加された⁶⁾。

ここで凍結防止剤の散布による塩害に着目する。アメリカでは一般的な道路に対して 1930 年代後半に凍結防止剤として塩が散布され始めた。その結果、これまで海岸地域で確認されていたコンクリート片の早期剥離・剥落が降雪地帯でも見られるようになり、凍結防止剤として散布していた塩が、降雪地域の鉄筋腐食の原因であることが認識されるようになったのは 1970 年代である。このように、日本で中性化に関する研究が精力的に取り組まれていた当時、アメリカでは塩害が深刻な問題であった。

1985 年には、コンクリート中の鋼材の腐食に関する委員会 (ACI 222) の報告書が発刊された。本報告書では、鋼材腐食の主な原因として塩害が着目されている。中性化に関しては進行が緩やかであり、ひび割れや施工不良が認められる箇所、またはかぶりが小さい箇所を除き、有害な影響は及ぼさないと説明されている⁷⁾。この主張の根拠として、1968 年の国際セメント化学シンポジウムで発表された濱田博士の論文⁸⁾と、鋼材腐食に着目した委員会の報告書⁹⁾が引用されている。

1989 年、ACI 318 に耐久性の章が追加され、凍害、化学的腐食、鋼材腐食の項目が設けられた¹⁰⁾。しかしながら、鋼材腐食に関しては、塩害が要因となる場合のみが想定されたうえで、最大水結合材比やコンクリート中の塩化物イオン量の許容量が定められており、中性化の影響は考慮されなかった。以降、ACI 318 は改訂が重ねられ、直近では 2019 年にも改定が行われたが、中性化に関する耐久性照査は現在も行われていない¹¹⁾。

4. まとめ、謝辞

アメリカにおけるかぶりの設計に中性化の影響が考慮されていないのは、塩害による甚大な被害に比べて中性化の影響は限定的と考えられているからであり、日本の中性化に関する研究成果も参照されたと思われる。本研究は、令和 3 年度土木学会吉田研究奨励賞を授与した研究の一環として実施した。ここに謝意を示す。

5. 参考文献

- 1) H.C. Hensley, Chairman: Report of the Committee on Laws and Ordinances, ACI Journal Proceedings, Vol. 4, No. 1, pp. 234, 1908.
- 2) American Concrete Institute: Tentative Building regulations for the use of reinforced concrete, pp. 653, 1927.
- 3) American Concrete Institute: Building regulations for reinforced concrete, pp. 418-419, 1936.
- 4) ACI Committee 201: Durability of Concrete in Service, ACI Journal Proceedings, Vol. 59, No. 12, pp. 1774-1806, 1962.
- 5) Tadao Nishi: Outline of the study in Japan regarding to the neutralization of alkali (or carbonation) of concrete, International Symposium on Durability of Concrete final report, pp. 485-489, 1962.
- 6) ACI Committee 318: Building code requirements for reinforced concrete (ACI 318-63), pp. 318-33-318-34, 1963.
- 7) ACI Committee 222: Corrosion of Metals in Concrete, ACI Journal Proceedings, Vol. 82, No. 1, pp. 10, 1985.
- 8) Minoru Hamada: Proc. 5th Internatl. Sym. Chem. Cem, Tokyo, Japan, Vol. 3, pp. 343-369, 1968.
- 9) 12-CRC Committee: Corrosion of reinforcement and prestressing tendons a "state of the art" report, Matériaux et Construction, Vol. 9, No. 3, pp. 187-206, 1976.
- 10) ACI Committee 318: Building code requirements for reinforced concrete (ACI 318-89) and Commentary--ACI 318R-89, pp. 33-38, 1991.
- 11) ACI Committee 318: Building code requirements for structural concrete (ACI 318-19): an ACI standard, pp. 355-370, 2019.