

論文

[2103] 補強メーソンリー構造における中性化の進行予測と所要かぶり厚さに関する一考察

正会員○馬場明生 (建設省建築研究所)

正会員 千歩 修 (建設省建築研究所)

松島泰幸 (建設省建築研究所)

1. はじめに

補強メーソンリー(組積)構造は、配筋できる空洞部をもつメーソンリーユニット(組積単体)を用い、配筋後グラウトを充填してつくられる。ここでは、グラウトした組積体(グラウトプリズムと呼ぶ。)中のグラウトコンクリートの中性化の進行について、実験および理論的に検討を加えることによって、中性化の進行の側面からこの種の構造に必要なかぶり厚さについて考察する。このような現象は、異なる表面層をもつコンクリートの中性化と似ており、このような側面については、既に文献〔1〕に述べている。さらに、実験結果の一部は文献〔2〕および〔3〕に発表している。

また、この研究は、建設省建築研究所を中心に実施された、組積造に関する日米共同研究の下で開発されたRM(Reinforced Masonry)構造の耐久性の面からの所要かぶり厚さを決定する上で重要な知見を与えるものである。

2. 有効かぶり厚さ

補強メーソンリー構造には各種のタイプがあるが、ここではRM構造を対象とする。RM構造では、比較的空洞部の大きいコンクリートおよびセラミックのユニット(RMユニットと呼ばれている。)を組積し、配筋し、原則としてすべての空洞部を階高ごとに充填する。RM構造は、RMユニットの組積部分と内部のグラウトとを一体化させて地震動等の外力に抵抗するので、構造設計上の材料強度としては、グラウトしたRMユニットの組積体(プリズム)の圧縮強度が採用される。

したがって、耐久性の面から必要なかぶり厚さとして、RM構造の外部を構成するRMユニットのフェイスシェルの厚さを考慮することが必要となる。ここでは、フェイスシェルの厚さをどの程度かぶり厚さに加えることができるかについて検討し、かぶり厚さとして有効なフェイスシェル厚さ、すなわち、「有効かぶり厚さ」の概念を提案すると同時に、合理的な算定方法について述べる。

3. 実験の概要

3.1 実験方法

促進試験は3シリーズで行われた。それぞれの劣化環境条件、使用した材料、試験体の寸法等を表1に示す。シリーズ1は、JIS A 5406に規定するA, B, CおよびC種防水(空洞コンクリートブロック)と、JIS A 5408に規定される(型枠コンクリートブロック)に一般的なコンクリートを充填したものであり、現在広く使用されている補強組積造の中性化について明らかにするためのシリーズであるが、結果はRM構造にとっても有用である。シリーズ2は、各種の材質のユニットについてモデル的に研究するためのものである。また、シリーズ3は、中層のRM構造用に開発された高品質のユニット(RMユニット)についてである。

全シリーズとも、試験体製作後4週間湿空養生し、その後4週間室内(シリーズ1と3, 20℃, 65%RH, シリーズ2, 23℃, 50%RH)に放置し、試験体の表層付近の含水率を一定となるように

した。

中性化深さは、試験体を割裂し、特級エチルアルコールに1%の純水とフェノールフタレインを溶解した液をスプレーで噴霧して、無変色部の深さを測定した。

4. 中性化の進行の予測式と有効かぶり厚さの定義

4.1 予測式

筆者らは、各種の表面層をもつときの内部のコンクリートの中性化の進行を予測する式を提案した〔1〕。補強メーソソニー構造においては、その外表面がコンクリートまたはセラミックRMユニットで被覆されているので、内部のグラウトコンクリートの中性化は、以下の2式で表現できる。

コンクリートRMユニットを用いる場合、

$$D = A_c (\sqrt{T} - R) + D_{fo} \quad [T \geq R^2 \text{ の場合}] \quad \text{----- (1)}$$

セラミックRMユニットを用いる場合、

$$D = A_c (\sqrt{T + R^2} - R) + D_{fo} \quad \text{----- (2)}$$

ここで、D：RM構造の表面からの中性化深さ、D_{fo}：フェイスシェルの厚さ(mm)、T：暴露時間(yearまたはday)、R：中性化抵抗(year^{1/2}またはday^{1/2})であり、R²はフェイスシェルが中性化するに要する時間に対応している。

中性化抵抗、Rを与えると、ある時間経過後のグラウトの中性化速度当たりの中性化深さは、図1のように与えられる。

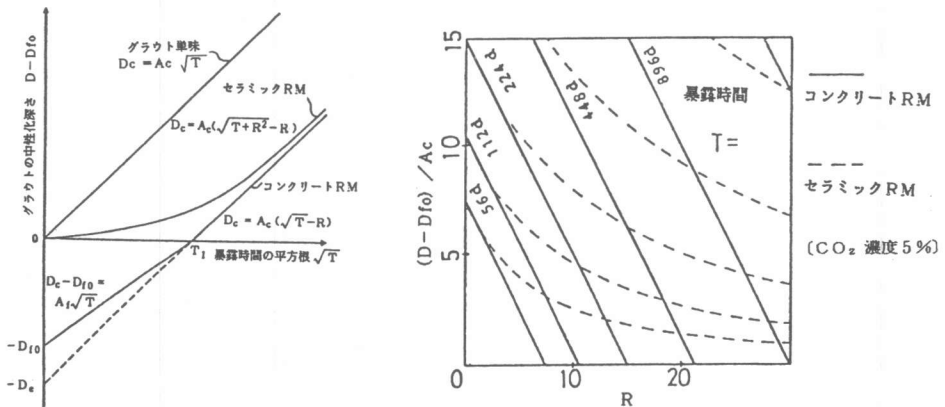


図1 RM構造のグラウトの中性化深さの予測図

表1 実験の水準

シリーズ No.	促進劣化 環境条件	ユニット		グラウト		試験体寸法 (mm)	参考文献
		種 類	正味圧縮強度 (kgf/cm ²)	種 類	圧縮強度 (kgf/cm ²)		
1	30℃, 65%RH CO ₂ 濃度 5%	空洞コンクリート ブロック (4種類)	96.4~185	普通コンクリート (骨材の最大寸法 20mm)	271	390 × 190 × 190	(2)
		型枠コンクリート ブロック (2種類)	189, 320				
2	23℃, 45%RH CO ₂ 濃度 4%	コンクリート ユニット (5種類)	145 ~ 726	普通コンクリート (3種類) (10mm)	296~ 525	300 × 75 × 75	(3)
		焼成粘土 (れんが) ユニット (4種類)	156 ~ 889				
3	20℃, 60%RH CO ₂ 濃度 5%	コンクリートRM ユニット	342	普通コンクリート (20mm)	306	390 × 190 × 190	-
		セラミックRM ユニット	449			290 × 190 × 190	-

4.2 有効かぶり厚さ

空洞部が完全に充填された組積体中のグラウトの中性化は、4.1 に示したように一般のコンクリートとは基本的に異なり、ユニットのフェイスシェル部は、グラウトの中性化をグラウトが直接的に外気に露される場合よりも、ある程度低下させる。4.1 に述べた予測式が適用できるとすると、フェイスシェル部分の中性化抑制上有効なかぶり厚さは、ある想定された寿命 (L_r) に対して図2のように定義できる。

したがって、有効かぶり厚さ D_e は、下式で与えられる。

コンクリートRMユニットの場合

$$\frac{D_e}{D_{fo}} = \frac{A_c}{A_f} \quad \text{----- (3)}$$

セラミックRMユニットの場合

$$\frac{D_e}{D_{fo}} = \frac{A_c}{A_f} \left(1 + \frac{\sqrt{L_r}}{R} - \frac{\sqrt{L_r + R^2}}{R} \right) \quad \text{----- (4)}$$

(5)式は、 $L_r = 0$ のとき、 $D_e/D_{fo} = 0$ となる。また、 $L_r \rightarrow \infty$ のとき、 $D_e/D_{fo} = A_c/A_f$ となり、(4)式と同一となる。

5. 促進中性化実験の結果

5.1 シリーズ1の実験結果

シリーズ1の代表的な実験結果を、図3に示す。同図は、4.1 に述べた予測式が有効であることを示している。

5.2 シリーズ2の実験結果

シリーズ2の代表的な実験結果を、図4に示す。また、このシリーズは、ユニットが気乾状態のときに、グラウトを充填したため、グラウトの水分の一部が吸水され、水セメント比が小さくなり、コントロール試験中よりも大変小さい中性化深さとなった。したがって、試験体上下面のグラウトコンクリートが直接中性化された面の中性化の進行状態をベースにフェイスシェルの中性化抑制効果を検討した。図5は、4.1 に述べた予測式と実験値との関係を示すが、予測値はかなりよく実験値を予測できる。

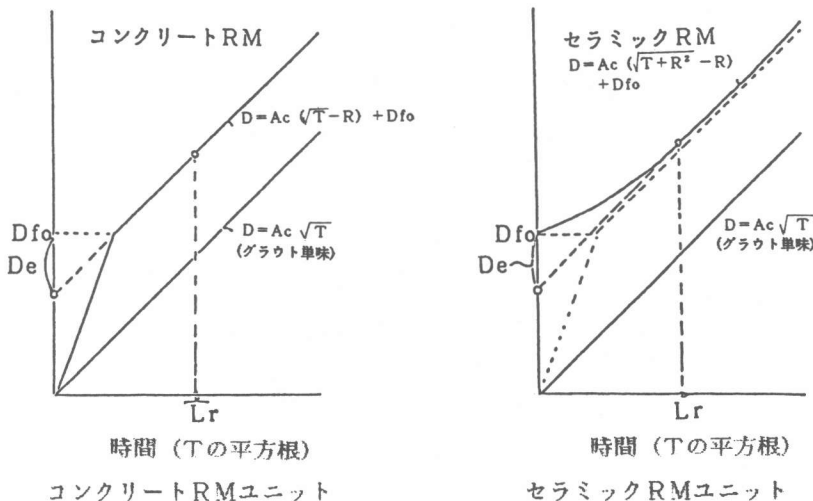


図2 補強メーソンリー構造におけるフェイスシェルの有効かぶり厚さの定義

5.3 シリーズ3の実験結果

RM構造用に開発されたRMユニットにおいて現実的な条件で促進中性化実験を実施した結果を写真1に示す。セラミックRMユニットの場合には、グラウト部の中性化がほとんどないほど水セメント比が低下している。

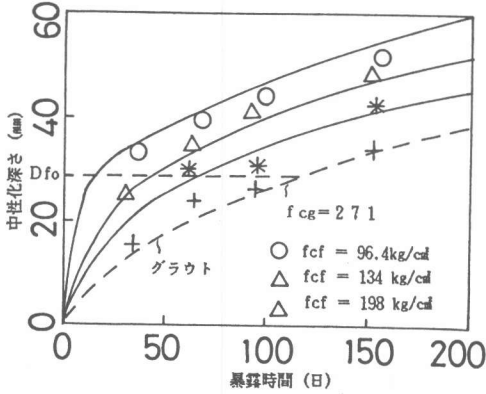


図3 シリーズ1の代表的実験結果

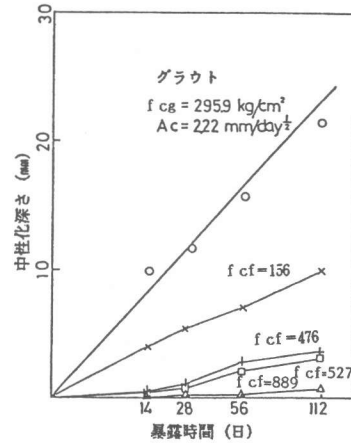
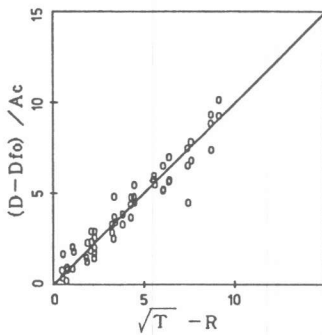
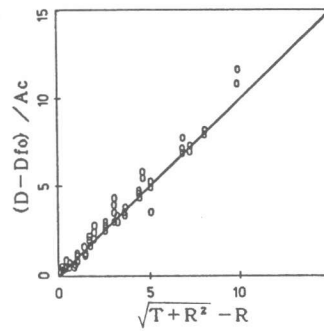


図4 シリーズ2の代表的実験結果 (セラミックスの場合)

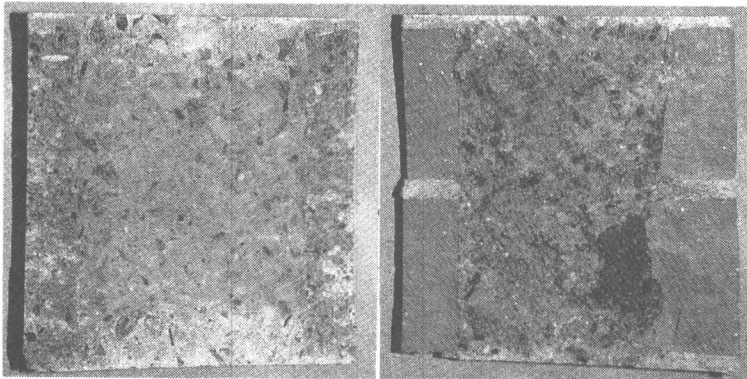


コンクリートユニット



セラミックユニット

図5 シリーズ2の実験結果と予測式との関係



コンクリートRMユニット
(圧縮強度 342 kg/cm²)

れんがRMユニット
(圧縮強度 449 kg/cm²)

グラウト : sl. = 21 cm
w/c = 57%
試験条件 : 温度 20℃、
湿度 60% RH、
CO₂ 濃度 5%
グラウトの露出している部分は中性化しているが、フェイスシェルに覆われている部分は、全く中性化していない。

写真1 RM組積体の促進中性化結果 (4 M) の例

6. 中性化速度係数

実験結果より求められるユニットのフェイスシェル部の中性化速度係数 A_f と強度との関係を示すと、図6のようになる。十分な実験結果ではないが、中性化速度係数 A_f と圧縮強度との関係は、下式で計算できる。

コンクリートRMユニット

$$A_f = 179.4 \left(\frac{1}{\sqrt{f_{cf}}} - \frac{1}{\sqrt{625}} \right) \quad \text{----- (5)}$$

セラミックRMユニット

$$A_f = 738.2 \left(\frac{1}{\sqrt{f_{cf}}} - \frac{1}{\sqrt{1068}} \right) \quad \text{----- (6)}$$

7. 有効かぶり厚さ

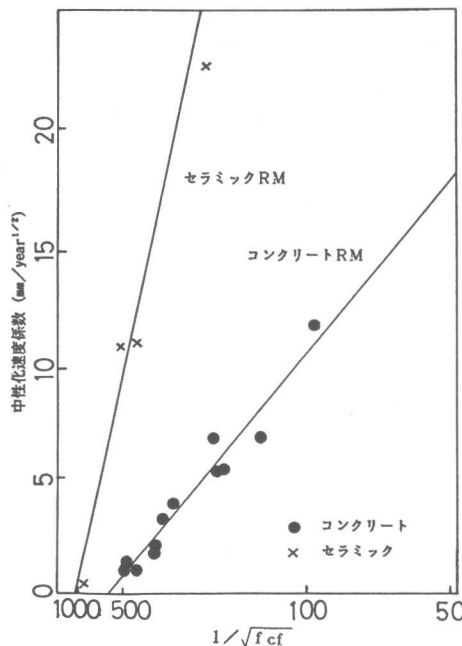
寿命を45年としたときの有効かぶり厚さとユニットの強度との関係を示すと、図7のようになる。同図に示すように、グラウトの強度が大きくなると有効かぶり厚さが小さくなる傾向にあるが、グラウト強度を 100から300kgf/cm²の範囲で考えると有効かぶり厚さを下式で与えることによって、充分安全側とすることができる。

コンクリートRMユニットの場合

$$\frac{D_e}{D_{fo}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{f_{cf}}{f_{cg}} \quad \text{----- (7)}$$

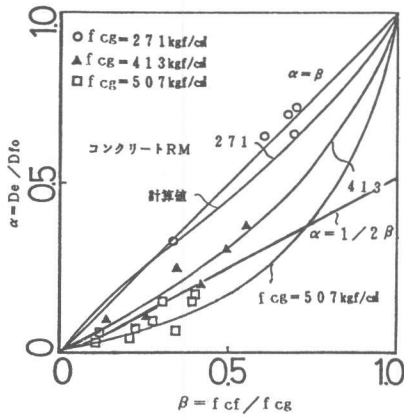
セラミックRMユニットの場合

$$\frac{D_e}{D_{fo}} = \frac{1}{3} \cdot \frac{f_{cf}}{f_{cg}} \quad \text{----- (8)}$$

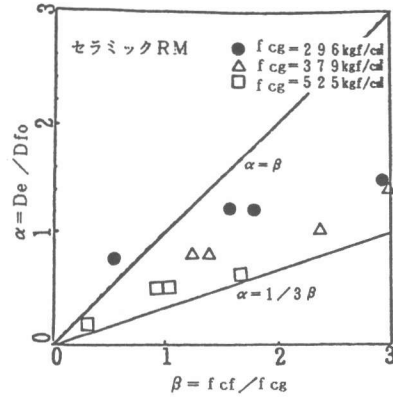


注) 促進実験結果による中性化速度係数に炭酸ガス濃度比の平方根を掛けることによって300ppmとして標準化して示している。

図6 中性化速度係数とユニットの圧縮強度との関係



コンクリートRM



セラミックRM

図7 有効かぶり厚さと圧縮強度との関係

8. まとめ

以上、筆者らが既に提案した表面層をもつコンクリートの中酸化深さの予測式、グラウトした組積体の中酸化実験の結果より、組積ユニットの有効かぶり厚さを求める方法を示した。

〔参考文献〕

- 〔1〕 馬場明生、千歩修、「各種表面層をもつコンクリートの中酸化深さの予測方法に関する一考察」、コンクリート工学協会年次講演会、1987年
- 〔2〕 Akio Baba, "Accelerated Carbonation and Possible Approach to Prediction of Service Life of Concrete Masonry," BRI Research Paper No 126, Building Research Institute, July, 1988
- 〔3〕 Akio Baba and F. D. Beresford, "Carbonation of Reinforced Masonry," 7th International Brick Masonry Conference, Melbourne, Australia, Feb. 1985