

外断熱建物はなぜ長寿命となるのか

社団法人北海道建築技術協会 長谷川 寿 夫

1. はじめに

RC造の内断熱建物は耐久劣化が早く寿命が短いので、建替えによって建築廃材が大量発生し、地球環境の破壊と資源問題を起こしている。外断熱建物は、躯体コンクリートが外気温、日射、降水などの影響をほとんど受けずに長期的に乾燥していることから、長寿命な建物となると考えられる。

本研究は、躯体コンクリートの乾燥と中性化および鉄筋腐食の進行との関係に着目したものである、各種の外断熱工法の屋外側からの中性化抑制効果を検討し、また、躯体コンクリートの長期経過後の乾燥程度を把握して、中性化速度および鉄筋腐食速度との関係を定量的明らかにした。以上の結果を基にして、躯体コンクリートの寿命予測方法を提案し、算定した各種の外断熱建物および非外断熱建物躯体コンクリートの寿命を比較した。

2. 外断熱躯体コンクリートの透気性と中性化

2.1 外断熱工法部分の透気性の測定

外断熱工法に使われている断熱材と外装材を用い、通気層、透湿防水シートおよび外装材塗装の有無によって構成した各種の外断熱工法部分の試験体を作製し、透気量と透気時間の測定を行って、透気係数を算出した。

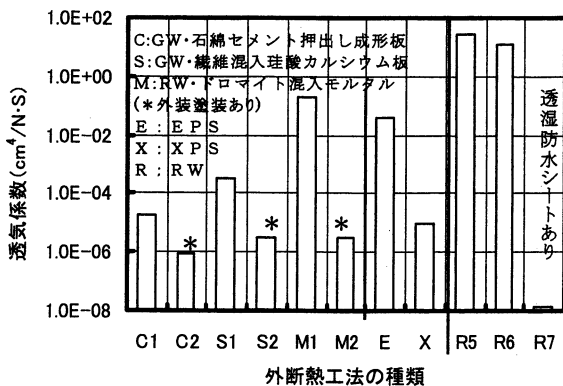


図1 外断熱工法部分の透気係数

透気係数は押出法ポリスチレンフォームを用いた工法(X)では $9.1 \times 10^{-6} \text{cm}^4/\text{N}\cdot\text{s}$ 極めて小さく、ビーズ法ポリスチレンフォームを用いた工法(E)では、前者(X)の約4000倍である。繊維系断熱材を用いた通気層工法(R5、R6)では、 $13 \sim 27 \text{cm}^4/\text{N}\cdot\text{s}$ で極めて大きい。ポリフィルムの使用(R7)によって極めて小さくなる。繊維系の断熱材を用いた密着工法(C1~M2)の透気係数は、外装材の種類によって差が大きく、また塗装すると極めて小さくなる。

以上のように、外断熱工法部分の透気係数は断熱材・外装材の種類や施工方法によって大きく異なる。

2.2 外断熱躯体コンクリートの中性化の進行

外断熱工法による中性化抑制効果は、工法部分の二酸化炭素の透気性に関係している。各外断熱工法の中性化抑制効果を検討するため、2.1の透気性測定試験と同種類の外断熱躯体コンクリートのモデル試験体を作製し、促進中性化試験により8週間後に中性化深さを測定した。結果を図2に示す。

この図は、各種の外断熱工法を施工した場合の施工なし(打放し：N)の場合に対する中性化深さの比を求めて、外断熱工法の中性化抑制効果を表している。

繊維系断熱材を用いた通気層工法(R5、R6)では、中性化抑制効果がほとんど認められない。しかし、ポリフィルムを用いた場合(R7)では、抑制効果が大きい。

繊維系断熱材を用いた密着工法(C1~M2)では、断熱材のみでは抑制効果がほとんどなく、外装材の種類(C、S、M)と塗装の有無に左右される。塗装した外装材を用いた各種の密着工法(*印)では、中性化深さの比が0.1~0.2と小さくなっている。

押出法ポリスチレンフォームを用いた工法(X)

では、打込み工法の場合 (X3) には中性化が全く進行していない。後張り工法 (X2) の場合には中性化がわずかに進行したが、これは試験中のコンクリートと断熱材との密着性がシールが不十分であったためと考えられる。ビーズ法ポリスチレンフォームを用いた後張り工法 (E) では中性化深さはわずか2mmであり、抑制効果が大きい。

以上のように、各種の断熱材や外装材およびそれらの施工方法を組み合わせた外断熱工法は、中性化抑制効果が大きく異なる。これは、各種外断熱工法部分の透気係数が大きく異なるためである。

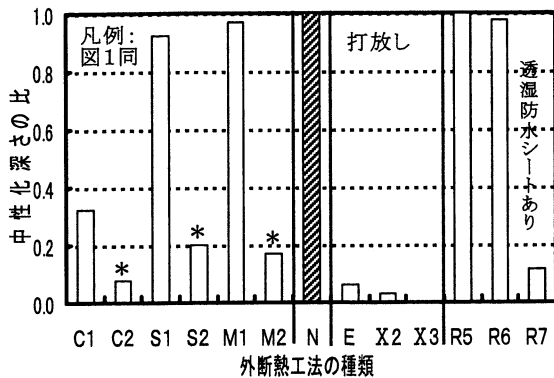


図2 各外断熱工法部分の中性化抑制効果

2.3 外断熱工法部分の透気係数と中性化抑制効果

2.1で求めた外断熱工法部分の透気係数と2.2で求めた促進中性化深さの関係を、図3に示す。

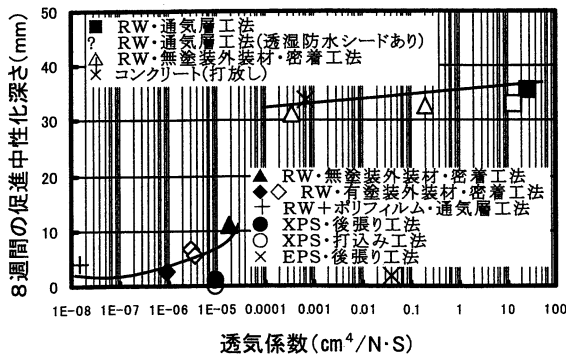


図3 外断熱工法の透気性と促進中性化深さの関係

このように、今回の外断熱工法の内容により大きく2つのグループに分けられる。外断熱工法部分の透気係数が大きいほど、コンクリートの中性化深さが増える傾向があり、外断熱工法の透気性から中性化抑制効果を定量的に評価することが可能である。

3. 躯体コンクリートの乾燥程度

3.1 外断熱建物躯体コンクリート乾燥程度の調査

調査は、外断熱建物のXPSを用いた打込み工法および繊維系断熱材を用いた通気層工法、後張りの密着工法を対象とした。コンクリートの含水率は、電気抵抗式水分計を使用し、コンクリート表面から10~50mm (一部70mm) 位置の質量含水率を測定した (図4)。

XPSを用いた打込み密着工法では、屋外側は相当乾燥状態にあり、屋内側はさらに屋外側よりもやや乾燥している。繊維系断熱材を用いた密着工法及び通気層工法では、屋外側は相当乾燥している。屋内側は、質量含水率が石膏ボード下地ビニルクロス仕上げの場合3.5%以下、吹付けタイル仕上げの場合4.1%以下で、屋内側より屋外側の方が乾燥している。

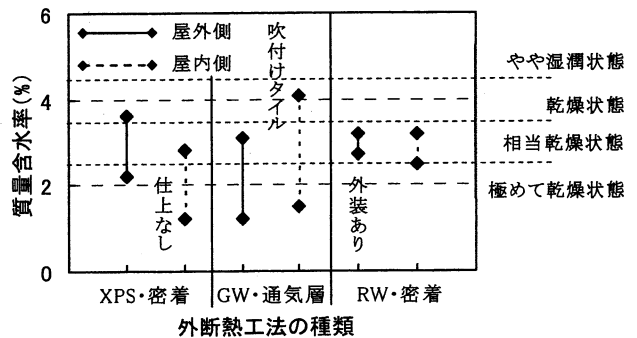


図4 外断熱建物外壁コンクリートの乾燥程度

3.2 無断熱建物躯体コンクリート乾燥程度の調査

調査建物の経過年数は15、45、80年で、質量含水率は、躯体からのコアをスライスして、絶乾前後の質量により求め、また、水分計による測定も行った。

躯体コンクリートの乾燥程度は、図5のように、外壁は外側が内側とほぼ同じで、乾燥状態からやや湿潤状態にあり、内壁は相当乾燥状態から乾燥状態にある。基礎の外側は地中の影響で、湿潤状態から相当湿潤状態になっている。外壁は、降水の影響がない所では南壁の方が北壁よりやや乾燥している。

3.3 内断熱建物躯体コンクリート乾燥程度の調査

建物は、外装が珧石質タイルで、内断熱材が発泡ウレタン (地下部分で内装なし) である。

外壁コンクリートは、図6のように、屋外側と屋内側はほぼ同じで、乾燥状態からやや湿潤状態になっている。また、基礎の外側は、外壁の含水率より高く、やや湿潤状態～湿潤状態にある。

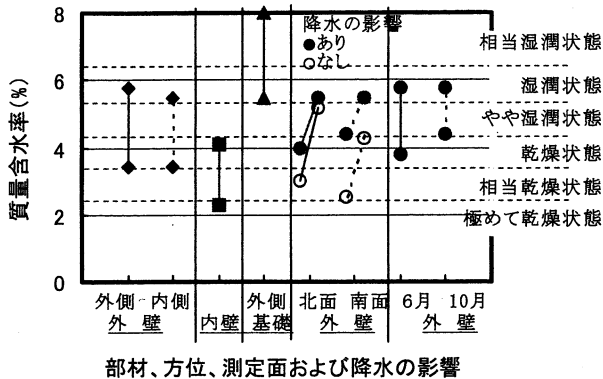


図5 無断熱建物躯体コンクリートの乾燥程度

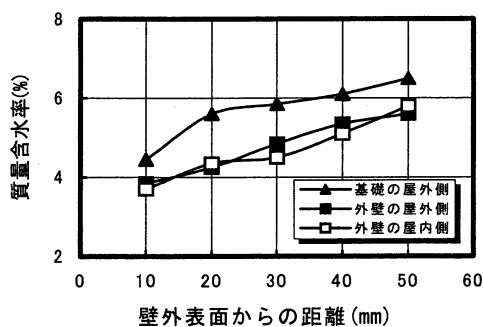


図6 内断熱建物外壁コンクリートの乾燥程度

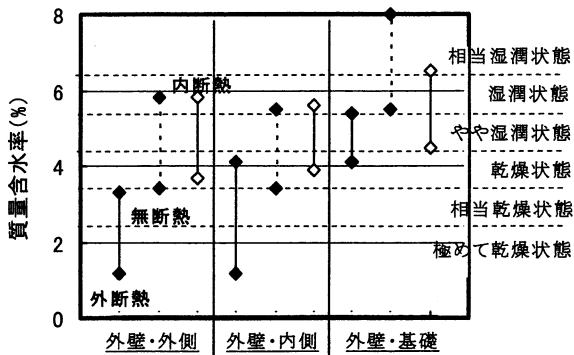


図7 断熱工法と外壁コンクリートの乾燥程度の比較

3.4 外断熱と非外断熱建物の乾燥程度の比較

図7のように、外断熱建物の外壁の屋外側、屋内側および基礎の屋外側の質量含水率はそれぞれ非外断熱建物より低く、全体的に乾燥している傾向にある。

4. コンクリートの乾燥程度と鉄筋腐食の関係

4.1 コンクリートの乾燥程度と鉄筋腐食量

鉄筋入りコンクリートを全断面促進中性化後に、およそ一定質量含水率として2、5、7%、変動含水率として毎週3~5%と3~7%の繰り返し条件に設置し、3ヶ月と6ヶ月の経過時に鉄筋腐食量を測定した。

大住の研究^[1]によれば、鉄筋の腐食速度とコンクリートの含水率の関係は、相対含水率が90%程度で腐食速度が最大となる曲線となり、また、最大となる前の部分はほぼ直線的な関係であるといわれている。

今回の実験で得られた関係は、この大住の研究結果を踏まえると、質量含水率5.4%付近がピークとなる図8のような曲線で表すことができる。

また、コンクリートが1週間ごとに乾湿繰り返した今回の条件では、鉄筋の質量減少率は、質量含水率一定の場合の最大値よりも約3倍大きくなる。

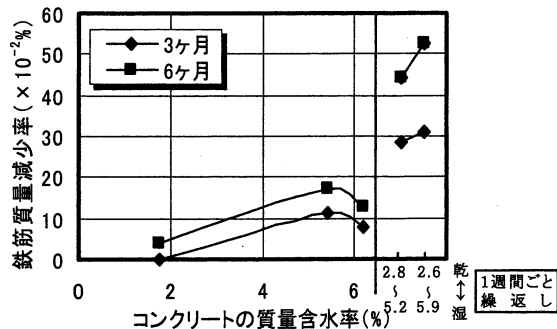


図8 鉄筋質量減少率とコンクリート質量含水率の関係

4.2 コンクリートの質量含水率と経過年数から鉄筋質量減少率の算定

(1) コンクリートの含水率一定の場合 (5.4%以下)

図8の鉄筋質量減少率 (Q) とコンクリート含水率 (W) との直線的な関係は (1) 式で表すことができる。

$$t = 833 \times Q^2 / (1.47W - 1.02)^2 \quad (1)$$

ここに、t：中性化後の年数 (年)、Q：鉄筋質量減少率 (%)、W：コンクリートの質量含水率 (%)。

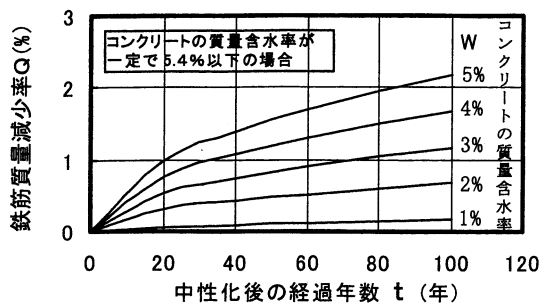


図9 中酸化後の経過年数と鉄筋の質量減少率の関係

(2) コンクリートの含水率が大きく変動する場合

図8に示しているコンクリートの乾湿が質量含水率2.6↔5.9%を1週間ごとに繰り返す場合の鉄筋の質量減少率は、含水率が一定の場合の最大質量減少率より約3倍も大きくなっていることから、以下の(2)式が得られる。

$$t = 2.0 \times Q^2 \quad (2)$$

ここに、 t ：中酸化後の年数(年)、 Q ：鉄筋質量減少率(%)

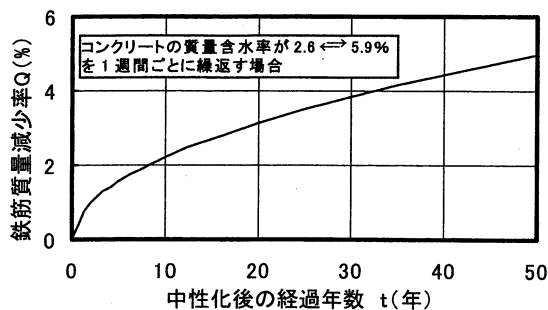


図10 中酸化後の経過年数と鉄筋質量減少率の関係

5. RC造建物躯体コンクリートの寿命予測

5.1 乾燥程度をパラメータとした中酸化速度式

大岸ら^[2]は、促進中酸化試験により、中酸化深さとコンクリートの含水率の関係を求め、コンクリートの含水率が高いほど、中酸化速度は遅くなると報告している。これより、繊維系断熱材を用いた通気層工法の外断熱建物躯体外側コンクリートの中酸化速度係数と質量含水率の関係を求めた。さらに、この結果を基にして、コンクリートの中酸化進行に及ぼすCO₂濃度、温度、W/C、仕上げ材および外断熱工法の影響を考慮した中酸化速度式として、(3)式を表した。

$$X = K_w \times K_c \times K_{wc} \times K_T \times K_f \times \sqrt{t} \quad (3)$$

ここに、 X ：中酸化深さ(mm)、 K_w ：コンクリートの質量含水率による係数、 K_c ：CO₂濃度による係数、 K_{wc} ：W/Cによる係数、 K_T ：温度による係数、 K_f ：外断熱工法と仕上げ材による中酸化抑制係数、 t ：経過年数(年)。

5.2 乾燥程度をパラメータとした建物の寿命予測式

建物寿命としては、かぶり厚さまでの中酸化年数と、中酸化後鉄筋が有害な腐食状態になるまでの年数との和を求めた。

前述の2.~4.および5.1で提案した中酸化速度式などの得られた結果を総合して、建物躯体コンクリートの寿命予測式を、以下のように表した。

(1) コンクリートの含水率が一定(5.4%以下)の場合

$$t_2 = D^2 / (K_w \times K_c \times K_{wc} \times K_T \times K_f)^2 + 833 \times Q^2 / (1.47W - 1.02)^2 \quad (4)$$

ここに、 t_2 ：非外断熱建物躯体の屋内側・外断熱建物躯体の寿命(年)、 D ：かぶり厚さ(mm)、 Q ：有害な鉄筋腐食状態になる時点の鉄筋の質量減少率(%)、 K_w 、 K_c 、 K_{wc} 、 K_T 、 K_f 、 W ：前出。

(2) コンクリートの含水率が大きく変動する場合

$$t_2 = D^2 / (K_w \times K_c \times K_{wc} \times K_T \times K_f)^2 + 2.0 \times Q^2 \quad (5)$$

5.3 躯体コンクリートの寿命の比較

(4)、(5)式により、W/C=50%と65%、 $D=30$ mmと40mm、 $Q=3\%$ の算出条件において、躯体コンクリートの質量含水率 W が外断熱建物で2.5%と3.5%、非外断熱建物の屋外側で2.6~5.9%の範囲内1週間ずつ乾湿繰り返し、および屋内側は3.5%と5.5%の条件で、外断熱と非外断熱建物の外壁の屋外側と屋内側の寿命をそれぞれ計算し、その短い方を躯体外壁コンクリートの寿命として求めた結果を、表1に示す。

表1 断熱工法による外壁躯体コンクリートの寿命^{注)}

建物の種類	外断熱工法及び仕上げ状況		躯体コンクリートの寿命 t_2 (年)	
	屋外側	屋内側	W/C=65% D=30mm (含水率による最短寿命)	W/C=50% D=40mm (含水率による最長寿命)
外断熱建物	・GW、RW 通気層工法	仕上げなし	465	1160
		モルタル下地塗装仕上げ	495	1290
	・XPS ・密着工法	仕上げなし	465	1160
		モルタル下地塗装仕上げ	1025	4425
非外断熱建物	仕上げなし	仕上げなし	75	590
		モルタル下地塗装仕上げ	75	1355
	モルタル下地塗装仕上げ	仕上げなし	215	600
		モルタル下地塗装仕上げ	1015	11000

注) 仕上げ材の劣化や躯体のひび割れがない場合

躯体コンクリートの寿命は、表1に示すように、外断熱建物では、繊維系断熱材を用いた通気層工法の場合でも465年と長い。一方、非外断熱建物で屋外側に仕上げなしの場合にはわずか75年である。これらから、外断熱建物は非外断熱建物に比較して非常に長寿命となっていることを定量的求めることができた。

[謝辞] この研究は、申雪寒氏(当時北大院生)との共同研究で、氏の博士論文としてまとめることができたものである。

[参考文献]

- [1] 大住道生他：酸素拡散理論に基づくコンクリート中の鉄筋の腐食速度予測法、土木学会論文集、N0.648、2000.5
- [2] 大岸佐吉他：促進法によるコンクリートの長期中性化推定の試み、セメント・コンクリート、No.533、1991

CPD

自習型認定研修



080930101001600001

会誌156号 技術ノート
2008/09/30 (社)北海道建築士会