住宅基礎の高耐久化に関する研究

住宅基礎，高耐久，コンクリート，中性化，乾燥収縮

　　　　　　　　　　　　　　　　　　 　　　　 　　　　海原 則之＊1花野 克哉＊1  篠山　彰＊1

 　　　　高橋 大祐＊2外山 明日香＊3 阿部 道彦＊4

１．はじめに

木造住宅や鉄骨造住宅について，住宅の品質確保の促進等に関する法律(平成12年4月)や長期優良住宅の普及の促進に関する法律(平成21年6月)の施行をみても，建築物の長寿命化や使用される材料の品質についての要求が高まっていることがわかる。しかし，品確法における住宅性能表示制度では，コンクリート基礎は劣化対策等級の対象となっていない。

本研究では，実際に戸建住宅の基礎に使用されるコンクリートを対象とし，設定した調合および施工条件で鉄筋腐食やコンクリートに有害なひび割れが生じないことを実験的に確認するとともに，コンクリート基礎の強度特性と耐久性についての検討を行い，長期の耐久性が確保されることを確認することを目的とする。

２．実験概要

400mm

160mm

300mm

　\*1：東日本ハウス，\*2：建材試験センター，\*3：工学院大学建築学専攻修論生，\*4：工学院大学建築学部建築学科

２．１　対象物件

平成22年6月～平成23年3月の期間に東京都および神奈川県において建設された木造住宅13物件(高耐久仕様:10棟，一般仕様:3棟)を対象とした。

２．２　基礎の形状・配筋

　基礎の立上がり部は，幅160mmおよび140mm，高さ300mm，設計かぶり厚さは外側75mm，内側62mmとし，最小かぶり厚さは，外側・内側ともに40mm1)とした。かぶり厚さの測定は，型枠の上端からタテ筋の露出している箇所まで建物外周部を1m間隔にスケールを用い測定した。

２．３　供試体の作製と養生条件

図-1に模擬基礎寸法とコア採取位置を，図-2に基礎の断面図とかぶり厚さ測定箇所を示す。模擬基礎は，基礎の立上がり部と同じ断面(160×300mm)を有する長さ400mmの供試体を1物件につき各5体作製した。模擬基礎への打込みは実物件と同様に行うものとし，高耐久仕様の場合，打込み後に一定の時間(夏季:20分程度，冬季:40分程度)をおいて棒形振動機で再振動による締固めを施した。実物件の養生方法は，材齢13週まで封かん養生としているが，養生期間の影響を検討するため，本実験では供試体5体のうち1体は材齢2日で脱型し，残り4体は材齢4日で脱型後，封かん養生を行い， 4日，1週，4週，13週の材齢まで工学院大学八王子校舎の敷地内で暴露を行った。管理用供試体寸法は，圧縮強度試験用としてφ75×150mm，φ100×200mmの2種類とし，養生方法および試験材齢は，材齢2日，4日，1週，4週，13週まで現場封かん養生とし，材齢4週用に管理用供試体もあわせて作製し，本数は1条件3本とした。また，促進中性化試験および乾燥収縮試験用として，100×100×400mmの角柱供試体を1物件につきそれぞれ3体作製し，材齢1日で脱型後，材齢4週まで標準養生を行った。

150mm

250mm

50mm

図-１　模擬基礎寸法とコア採取位置

かぶり厚さ

測定箇所

基礎立上り

図-２　基礎断面

２．４　コンクリートの受入れ時の検査

フレッシュコンクリートの品質試験は，JIS A 1101(コンクリートのスランプ試験方法)，JIS A 1128(フレッシュコンクリートの空気量の圧力による試験方法-空気室圧力方法)，JASS5 T-502(フレッシュコンクリート中の塩化物量の簡易試験方法)，JIS A 1156(フレッシュコンクリートの温度測定方法)に準じて行った。なお，参考のため単位水量をエアメータ法により測定した。

３．使用材料および調合

表-1にコンクリートの調合を示す。計画供用期間65年(以下，高耐久仕様)では，設計基準強度24N/mm2，耐久設計基準強度24N/mm2，呼び強度30，目標スランプ12cmとし，計画供用期間30年(以下，一般仕様)では，設計基準強度21N/mm2，耐久設計基準強度18N/mm2，呼び強度24または27，目標スランプ18cmを設定し，空気量は高耐久仕様，一般仕様ともに4.5%とした。セメントは普通ポルトランドセメント(密度：3.16g/cm3)，練混ぜ水は上水道水，地下水または上澄水を使用を使用した。

表-１　コンクリートの調合

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 棟 | 呼び強度 | W/C(%) | s/a(%) | 単位量(kg/m3) |
| W | C | S | G | 混和剤 |
| ① | ② | ① | ② |
| 1 | 30 | 49.0 | 45.0 | 160 | 327 | 614 | 205 | 1013 | 3.27 |
| 2 | 30 | 49.0 | 46.3 | 173 | 353 | 611 | 204 | 958 | 3.88 |
| 3 | 30 | 47.0 | 44.2 | 167 | 355 | 711 | 1003 | 3.91 |
| 4 | 30 | 50.5 | 45.5 | 171 | 339 | 554 | 238 | 982 | 4.07 |
| 5 | 30 | 51.5 | 43.4 | 171 | 332 | 773 | 518 | 522 | 1.33 |
| 6 | 30 | 46.0 | 43.0 | 165 | 359 | 596 | 149 | 1013 | 3.59 |
| 7 | 24 | 60.0 | 48.0 | 180 | 300 | 422 | 437 | 478 | 481 | 1.20 |
| 8 | 30 | 46.0 | 43.0 | 165 | 359 | 596 | 149 | 1013 | 3.59 |
| 9 | 30 | 49.0 | 46.8 | 169 | 345 | 626 | 209 | 958 | 3.10 |
| 10 | 27 | 50.1 | 45.8 | 177 | 354 | 625 | 156 | 949 | 3.54 |
| 11 | 27 | 52.0 | 51.3 | 180 | 347 | 673 | 224 | 862 | 3.12 |
| 12 | 30 | 46.0 | 43.0 | 165 | 359 | 596 | 149 | 1013 | 3.59 |
| 13 | 30 | 45.0 | 41.0 | 164 | 365 | 141 | 575 | 1047 | 3.65 |

４．試験結果および考察

４．１　配筋精度

表-2にコンクリート基礎の型枠の種類とかぶり厚さの測定結果を示す。基礎の型枠は物件により鋼製型枠と木製型枠が使用されていた。基礎幅の測定結果は，設計値と測定値の平均の差が，鋼製型枠では11物件の平均で1.4mm，木製型枠では1物件9.7mm，鋼木併用型枠では1物件1.9mmであった。かぶり厚さでは，設定値と測定値の平均の差は，鋼製型枠で5.4mm，木製型枠で5.4mm，鋼木併用型枠では2.2mmであった。かぶり厚さの標準偏差をみると，最大13.6mmとばらつきが大きく，一般的なかぶり厚さの標準偏差10mmを超える結果となった。これは型枠の種類の違いによるものではなく，型枠や鉄筋の施工業者の違いによるものと推測され，かぶり厚さを確保し基礎の品質を確保するためには，型枠や鉄筋の施工誤差を減らすための対策が必要と考えられる。また，測定点569点中最小かぶり厚さを下回った箇所が1点確認されたが，コンクリート打込み前に是正した。

表-２　かぶり厚さの測定結果

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 棟 | 打設日 | 型枠種類 | かぶり厚さ(mm) | 標準偏差 |
| 設計値 | 測定数 | 平均 | 最大 | 最小 |
| 1 | 6月7日 | 鋼製 | 75 | 43 | 76.9 | 86 | 65 | 5.89 |
| 2 | 7月15日 | 鋼製 | 75 | 72 | 73.7 | 88 | 63 | 4.13 |
| 3 | 7月27日 | 木製 | 75 | 49 | 69.6 | 87 | 52 | 8.02 |
| 4 | 8月5日 | 鋼製 | 75 | 33 | 72.6 | 79 | 66 | 3.28 |
| 5 | 10月15日 | 鋼製 | 75 | 39 | 78.9 | 105 | 53 | 13.14 |
| 6 | 10月22日 | 鋼製 | 75 | 47 | 71.2 | 82 | 60 | 5.71 |
| 7 | 11月9日 | 鋼製 | 75 | 41 | 82.9 | 93 | 69 | 5.37 |
| 8 | 11月25日 | 鋼製 | 75 | 59 | 62.3 | 92 | 30 | 13.57 |
| 9 | 12月16日 | 鋼製 | 75 | 32 | 72.9 | 85 | 65 | 4.75 |
| 10 | 1月13日 | 鋼木併用 | 75 | 37 | 72.8 | 95 | 54 | 9.08 |
| 11 | 2月1日 | 鋼製 | 75 | 44 | 73.4 | 82 | 65 | 3.26 |
| 12 | 2月22日 | 鋼製 | 75 | 37 | 70.5 | 88 | 59 | 7.31 |
| 13 | 3月17日 | 鋼製 | 75 | 36 | 56.7 | 64 | 48 | 3.88 |

４．２　フレッシュコンクリートの品質

表-3にコンクリートのフレッシュ性状を示す。7・10・11棟目が一般仕様の物件である。

スランプ，空気量，塩化物量およびコンクリート温度は，4棟目を除き，すべてJIS A 5308(レディーミクストコンクリート)の規定を満足する結果となった。4棟目は打込み日が猛暑であり，コンクリート温度は規定を満たしていたが，スランプがJIS A 5308の規定を下回った。また，コンクリート受入れ時に空気量の規定を満たさず，再受入れにより規定を満たした物件が2棟あった。単位水量について管理目標値(設計単位水量±15kg/m3)を満たしていない物件が，高耐久仕様10棟のうち2棟あった。

打込み時の施工について，高耐久仕様の場合，一般仕様に比べワーカビリティーの違いから，打込み時の作業人数の増加，高周波の棒形振動機40φまたは50φの使用，棒形振動機の径の5倍の間隔での締固め作業を伴う施工とした。また，夏期の打込みにおいて，生コン車が複数台となる場合，プラントからの納入は打込み時の進行状況に合わせて行うことが求められ，現場付近での待機時間が長くなることによる品質の低下に配慮が必要である。

表-３　コンクリートのフレッシュ性状

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 棟 | SL(cm) | Air(%) | 塩化物(kg/m3) | 温度(℃) | 実測単位水量(kg/m3) | 気温(℃) | 天候 |
| 1 | 9.5 | 4.2 | 0.05 | 26 | 185.9 | 22 | 曇 |
| 2 | 10.0 | 3.6 | 0.06 | 30 | 183.1 | 26 | 曇 |
| 3 | 12.5 | 5.8 | 0.04 | 34 | 179.8 | 35 | 晴 |
| 4 | 7.0 | 6.0 | 0.05 | 35 | 185.6 | 34 | 晴 |
| 5 | 14.5 | 4.8 | 0.05 | 29 | 169.3 | 21 | 雲 |
| 6 | 12.0 | 5.5 | 0.04 | 24 | 154.0. | 19 | 雲 |
| 7 | 16.5 | 5.1 | 0.03 | 20 | 171.5 | 16 | 晴 |
| 8 | 13.0 | 5.5 | 0.04 | 18 | 156.0 | 15 | 晴 |
| 9 | 10.5 | 3.7 | 0.02 | 16 | 190.1 | 9 | 雲 |
| 10 | 18.5 | 5.4 | 0.04 | 11 | 184.4 | 7 | 晴 |
| 11 | 19.5 | 4.6 | 0.06 | 10 | 187.0 | 4 | 晴 |
| 12 | 14.5 | 5.0 | 0.03 | 10 | 150.0 | 8 | 晴 |
| 13 | 12.5 | 3.2 | 0.05 | 14 | 166.0 | 6 | 晴 |

４．３　圧縮強度試験結果

　管理用供試体の圧縮強度試験は，JIS A 1108(コンクリートの圧縮試験方法)，コアの圧縮強度試験は，JIS A 1107(コンクリートからのコア採取方法および圧縮試験方法)に準じて行った。ただし，水中浸漬は2時間とした。

　図-3に管理用供試体の材齢28日の圧縮強度を示す。13棟すべての物件において，呼び強度（7棟目：24, 10棟目と11棟目：27）を上回る結果となった。図-4に養生日数別の材齢91日時におけるコアの圧縮強度試験結果を示す。コアの圧縮強度について，冬季に打込まれた物件を除き，養生日数2日以上では養生日数による圧縮強度への影響は認められなかった。図-5に，平均気温と構造体強度補正値の関係を示す。図中には，JASS 5の規定値を示す。

図-３　管理用供試体の圧縮強度

図-４　コア供試体の材齢91日時圧縮強度

図-５　構造体強度補正値28Ｓ91

４．４　促進中性化試験結果

　促進中性化試験は，JIS A 1153(コンクリートの促進中性化試験方法)に準じて標準養生を行った角柱供試体(100×100×400mm)を用いて行い，材齢1週，4週，9週，16週および25週で測定を行った。

コア供試体の促進中性化試験は，封かん養生を材齢2日，4日，1週，4週，13週まで行った模擬基礎から材齢13週に採取したコアを用い，20℃60%R.H.の恒温恒湿室で1週間乾燥させ，その間にエポキシ樹脂を供試体側面に塗布し，材齢14週から促進中性化を開始し，各材齢3本を9週および25週で割裂し，割裂面で中性化深さの測定を行った。

角柱供試体による試験結果では, 高耐久仕様の10棟は，すべて高耐久指針1)の25mm以下を満足しており，100年後も最小かぶり厚さを上回らないと考えられる。コア供試体による試験結果では, 養生日数と中性化深さには明瞭な相関は認められなかった。また，角柱供試体に比べややばらつきが大きく，これはコア供試体の中性化深さの測定方法に起因するものと推測される。

図-６　圧縮強度と中性化速度係数の関係

４．５　寿命予測

これまでの実験結果をもとに，今回設定した調合および施工条件において，住宅基礎が計画供用期間100年の長期供用級を確保できるかの検討を行う方法には，以下の(1)～(3)の3つの方法があるが，ここでは(3)の方法を用いることとした。図-6は，13棟について養生方法ごとに，1材齢で3本(上中下)の平均(15点)を示したものである。図中の実線は，標準養生供試体の試験結果，破線はコアの試験結果の回帰式で，両者はほぼ一致した。また，図中の太い点線の横線は(3)の方法で算出した計画供用期間100年に相当するもので，今回の高耐久仕様10棟のデータはすべてこの線以下に分布している。

(1)決定論的方法

　中性化の進行が最小かぶり厚さに達したときを寿命とするもので，中性化の進行のばらつきを考慮していないが，容易に計算をすることが可能である。

　　　C=A√t

ここに，C：平均中性化深さ(mm)

　　　　　A：中性化速度係数(mm√年)

　 　　　　t：経過年数(年)

(2)確率論的方法

　鉄筋のかぶり厚さと，中性化の進行の両者についてばらつきを考慮し，鉄筋の腐食確率が所定の値に達した時を寿命とする。

　　　D=C+K×√(C2×V2+σ2)

ここに，D：設計かぶり厚さ(mm)

　　　　　K：腐食確率に対する正規偏差

　　　　　V：中性化深さの変動係数

　　　　　 σ：かぶり厚さの標準偏差(mm)

(3)法律論的方法

　中性化の進行にばらつきを考慮し，最小かぶり厚さを上回る確率(鉄筋腐食確率)が所定の値に達した時を寿命とする。

　　　C=(1+K×V)×A√t

４．６　乾燥収縮試験結果

　乾燥収縮試験は，JIS A 1129-3(コンクリートの長さ変化試験方法-第3部:ダイヤルゲージ方法)に準じて行った。なお，3棟目は標点が欠損していたため測定を実施していない。

　全般に乾燥収縮率は大きい値を示したが，これは恒温恒湿室の風速に起因するものと推測される。また，高耐久仕様は一般仕様に比べて乾燥収縮率および質量減少率が小さくなる傾向を示し，同一生コン工場では，2×10-4程度小さくなった。なお，7棟目の乾燥収縮率が他の一般仕様の物件に比べて小さいのは，骨材に石灰石を使用しているためと推測される。

５．まとめ

　本研究より，木造住宅に用いられるコンクリート基礎の強度特性や耐久性についてまとめると以下のとおりである。

1) 型枠のかぶり厚さについて，標準偏差が10mmを超えるものがあり，基礎の型枠の精度や配筋精度を高めるための対策が必要である。

2) 夏期の打込みにおいて，生コン車が複数台となる場合，プラントからの納入は打込み時の進行状況に合わせて行う必要があり，現場付近での待機時間が長くなることによる品質の低下に配慮が必要である。

3) コアの試験結果では，冬季に打込まれた物件を除き，養生日数２日以上では、養生日数による圧縮強度への影響は認められなかった。

4)高耐久仕様は一般仕様に比べ，中性化の進行が遅くなる傾向が認められ，計画供用期間100年を満足すると考えられる。

5) 高耐久仕様は一般仕様に比べ, 乾燥収縮率が2×10-4程度小さくなる傾向が認められた。

謝辞

　実験に際し，2010年度卒論生の秋山大志君と大貫信悟君，2011年度卒論生の青木穂高君と松本隆行君の協力を得ました。記して謝意を表します。

参考文献

1) 日本建築学会：高耐久性鉄筋コンクリート造設計施工指針（案）・同解説, p.7, 1991.7