分離防止装置を使用して打設した戸建住宅基礎コンクリートの性状

PROPERTIES OF DETACHED HOUSE FOUNDATION CONCRETE THAT USE REMIXING EQUIPMENT FOR CONCRETE PLACING WORK

深井 公 —*1 山西 耐 —*2
小作重夫 —*3 菅原和彦 —*4
辻田耕一 —*5 宮木 聡 —*6

Akira FUKAI —*1 Tsuyoshi YAMANISHI —*2
Shigeo OZAKU —*3 Kazuhiko SUGAWARA —*4
Koichi TSUJITA —*5 Satoshi MIYAKI —*6

キーワード:

住宅基礎, 収縮ひび割れ, 長さ・質量変化, ブリーディング, 気泡, 促進中性化

Keywords:

Housing foundation, Crack by drying shrinkage, Length and weight change, Bleeding, Air gap, Accelerated carbonation

The aggregate move to the center of the tube when concrete placed with the pump car. The material separates when this becomes awful. The device from which this separation was prevented was developed. This is installed in the boom point of a concrete pump car. The presence of MY-BOX was assumed to be an experiment variable, and the comparison experiment of concrete properties was done. When this device is used, the material becomes uniform. Workability improves and the quality improves. The crack of the foundation decreases. The air gap on the surface of the foundation decrease. The speed of making to the carbonation is slow.

1. はじめに

コンクリートは、密度や大きさの異なる粒子と水の混合物である。コンクリートをポンプで圧送した場合、骨材が中央に集まる現象が生じ、これが顕著になると材料分離となる場合がある¹⁾。また、圧送中の加圧により、分散していた水と空気泡が移動し粗大化する。これらの現象が原因となり、コンクリートに欠陥を発生させると考えられる(図1)。これらの現象を解消するため、落下型ミキサ²⁾を改良し、コンクリートポンプ車のブーム先端とフレキシブルホースとの間に組み込む(ビクトリックジョイントにて接続)ことで再練りが行われる装置³⁾、⁴⁾が開発された。本論では、戸建て住宅の基礎コンクリートの打込み用に開発された分離防止装置(MY-BOX[マイボックス]と称す)の性能把握を目的に、この装置を使用した場合と使用しない場合とのコンクリートの性状について、比較検討を行った。なお、実験は2回(実験①、実験②)に分けて行った。

2. 分離防止装置

MY-BOXは練り混ぜることを目的に開発されたミキサ²⁾で、その応用として、分離ぎみのコンクリートの再練り混ぜにも適用が可能である。MY-BOXの原理を図2に示す。MY-BOXは3つのユニットにより構成されている。ユニット①では、入口で左右に分割された2つの縦長の材料(図中①の入口)が、内部を通過する際に上下方向に圧延されて横長となり、上下に重なって出口より出される(①の出口)。ユニット②では、上下2層になった材料が縦に2分割され(②の入口)、出口では上下4層に材料が重なる(②の出口)。さらにユニット③を通過することで $2^3=8$ の層が形成され(③の出口)練

図1 ポンプ圧送と欠陥発生に関連

図2 MY-BOXの原理

*1 積水ハウス㈱施工開発部 主任
(〒531-0076 大阪市北区大淀中1丁目1番88号
梅田スカイビルタワーイースト)

*2 積水ハウス㈱施工開発部
*3 積和建設埼玉㈱ 代表取締役社長

*4 積和建設埼玉㈱ 取締役
*5 前田建設工業㈱新規事業部 副部長
*6 前田建設工業㈱新規事業部 課長・博士(工学)

*1 Assistant Manager, Construction Development Department, Sekisui House Co., Ltd.

*2 Construction Development Department, Sekisui House Co., Ltd.
*3 The President and Representative Director, Sekiwa Construction Saitama, Ltd.
*4 Director, Sekiwa Construction Saitama, Ltd.
*5 Sub-Director, Venture Business Department, Maeda Corporation
*6 Section Chief, Venture Business Department, Maeda Corporation, Dr. Eng.

図3 MY-BOXの取付け・使用状況

り混ぜを行うものである。図3に取付け・使用状況を示す。コンクリートの圧送速度は、基礎コンクリートの打込みで通常適用されている $10\text{m}^3/\text{h}$ 程度とした。

3. 実験①の概要

実験変数は、MY-BOXの使用・未使用、コンクリートスランプ 20、15cm とし、フレッシュコンクリートの性状（スランプ、空気量）、硬化コンクリートの性状（圧縮強度、割裂引張強度、圧縮応力-ひずみ関係、長さ変化率、質量変化率）を比較した。また、スランプ 20cm については基礎（幅 16cm、高さ 58cm、長さ 5m、鋼製型枠を使用。脱枠後に岩肌風となる化粧型枠を表側のみ使用〔化粧面と称す〕）を MY-BOX 使用・未使用で 2 体作製し、表面のひび割れ状況を観察した。コンクリートの調査は、表1のスランプ 18cm を標準として単位水量を調整することで、スランプ sl を 20、15cm とした。

表1 コンクリートの調査

W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m^3)				
		セメント	水	細骨材	粗骨材	混和剤*
54.0	50.1	333	180	854	878	2.90

*高性能 AE 減水剤

4. 実験①の結果と考察

4.1 フレッシュコンクリート

図4に、現場到着時からの経過時間ごとのスランプ、空気量を示す。試料の採取は、荷卸し・終了時ではトラックアジテータから、MY-BOX 使用・未使用では、フレキシブルホース筒先からとした。

図4 スランプ、空気量

MY-BOX 使用・未使用ではスランプは 2 回測定した。荷卸し時と終了時とを結んだ直線と比較すると、MY-BOX を使用した場合、空気量は増加し、経時によるスランプロスは若干少ないことが判った。

4.2 硬化コンクリート

表2にテストピース（ $\phi 10 \times 20\text{cm}$ 、材齢 4 週、3 本の平均値）の試験結果を示す。MY-BOX 使用による単位容積質量、圧縮強度、ピーク時ひずみの違いは見られなかった。引張強度については、MY-BOX を用いた場合、5%程度大きくなることが判る。なお、これらの結果は $sl=15\text{cm}$ についても同様であった。

表2 硬化コンクリートの試験結果

スランプ $sl(\text{cm})$	MY-BOX	単位容積 質量 (t/m^3)	圧縮強度 (N/mm^2)	ピーク時 ひずみ (%)	引張 強度 (N/mm^2)
20	使用	2.23	26.3	0.219	2.52
	未使用	2.20	25.4	0.213	2.35
15	使用	2.22	30.3	0.224	2.52
	未使用	2.25	31.2	0.226	2.44

4.3 長さ・質量変化

乾燥による長さ・質量変化は、JIS A1129-3に基づいて、ダイヤルゲージ方法にて実施した。試験体は同じ調査で $10 \times 10 \times 40\text{cm}$ を 3 体ずつ作成し、1 週の標準養生終了時を測定開始時点とした。図5.6に材齢 26 週までの 3 体の平均値を示す。MY-BOX を使用した場合、長さ変化率では 50×10^{-6} 程度小さい値を、質量変化率では 0.2% 程度小さい値を示していることが判る。

図5 乾燥収縮率

図6 質量変化率

4.4 試験体のひび割れ

基礎の試験体には、拘束を与えるため、上部建屋を模擬した鉄骨梁を、型枠脱型の翌日に取り付けた。材齢 37 週までの化粧面のひび割れ面積（＝ひび割れ長さ×最大幅の合計）を図 7 に示す。MY-BOX を使用した場合、ひび割れ面積は 50%程度少なくなることが判る（20→40mm²）。なお、最大ひび割れ幅はいずれも 0.08mm であった。

図 7 ひび割れ

5. 実験②の概要

実験変数は、MY-BOX の使用・未使用のみとした。フレッシュコンクリートの性状についてはブリーディング率を比較した。また、図 8 に示すように基礎試験体（幅 16cm、高さ 58cm、長さ 1.6m）を、MY-BOX 使用・未使用で 2 体作製し、脱型後の表面気泡の発生状況を観察した。棒状パイプは、50cm ピッチで 1 カ所あたり 5 秒間振動させて締め固めた。また、コアを 24 本（＝上中下 3 段×8 列）抜き取り、コア周囲の気泡の発生状況を測定した。コアは、圧縮強度試験用（9 本）と、促進中性化試験用（15 本）に用いた。コンクリートの調合は表 3 に示す。コンクリートのスランブは 18cm とした。

図 8 試験体概要（コア位置と試験種類）

表 3 コンクリートの調合

W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m³)				
		セメント	水	細骨材	粗骨材	混和剤*
48.0	46.0	386	185	778	940	3.86

*AE 減水剤

6. 実験②の結果と考察

6.1 フレッシュコンクリート

JIS A 1123 を準用し、現場（外気温 27℃）にて測定したブリーデ

ィング率を図 9 に示す。図より、MY-BOX を用いた場合、圧送中の圧力による水の分離が防止され、ブリーディング率は少なくなることが判る。

6.2 基礎試験体表面の気泡

図 10 に基礎試験体の脱枠後、表面に生じた直径 4mm 以上の気泡の数を、鋼製型枠面と化粧面について示す。鋼製型枠面に対して化粧面の方が表面に凹凸があるため、気泡は多い。また MY-BOX を使用した場合、鋼製型枠面では 67%（41→14 個/m²），化粧面では 33%（136→91 個/m²）気泡数が低減されることが判る。また、スランブ 18cm のコンクリートについて、合計 14 カ所（関東 4、関西 10）で実施した、MY-BOX 使用・未使用での気泡数の比較を、図 11 に示す。最小自乗法一次近似式での傾きは、0.60 となっていることから、MY-BOX を使用した場合、気泡数は 40%程度低減できることが判る。

図 9 ブリーディング

図 10 基礎表面の気泡（鋼製型枠面、化粧型枠面）

図 11 基礎表面の気泡（鋼製・化粧型枠面の合計）

6.3 コア周囲の気泡

コア周囲の面積に対する気泡面積の割合（気泡率）を表4に示す。測定方法は、コアの周囲に透明シートを巻き付けてマジックで気泡と粗骨材を写し取り、スキャナーでその面積を読みとった。測定対象の気泡は、計画的に連行されたものではなく、打込み時に巻き込んだものとして直径2mm以上とした。表中の値は、高さ方向ごとの8本の平均とした。MY-BOXを使用した場合、気泡率は31%減少（1.51%→1.04%）し、ばらつきも小さいことが判る。

表4 コア気泡率 単位(%)

採取位置	MY-BOX 使用		未使用	
	8本平均	標準偏差	8本平均	標準偏差
上部	1.11	0.23	1.45	0.59
中央	1.11	0.28	1.69	0.42
下部	0.90	0.20	1.39	0.36
平均	1.04	0.16	1.51	0.36

6.4 コアの圧縮強度

表5に圧縮試験結果を示す。MY-BOX使用・未使用による圧縮強度の違いは見られなかった。

表5 コア圧縮強度 単位(N/mm²)

採取位置	MY-BOX 使用		未使用	
	3本平均	標準偏差	3本平均	標準偏差
上部	38.7	1.39	37.8	1.04
中央	38.7	0.84	37.7	1.65
下部	44.2	1.82	43.2	1.93
平均	40.5	0.73	39.6	0.73

6.5 コアの促進中性化試験

促進中性化試験はJIS A 1152によった。温度20℃、湿度60%、炭酸ガス濃度5%の条件にて、材齢は13週とした。測定は、試薬噴霧後に直ちに行い、測定箇所は割裂面10カ所とした。下式に、中性化深さと経過日数との関係を示す⁵⁾。

$$C = A \sqrt{\frac{CO_2}{5}} \times \sqrt{t} = A \sqrt{\frac{0.03}{5}} \times \sqrt{t}$$

$$A = \frac{C}{\sqrt{CO_2/5} \cdot \sqrt{t}} = \frac{C}{\sqrt{t}}$$

C：中性化深さ(mm)，A：定数(mm・週^{-0.5})，

CO₂：炭酸ガス濃度(%)，t：材齢(週)

図12に、材齢13週の実験結果から求めた定数Aに基づいた経過年数と、中性化深さとの関係を示す。なお、炭酸ガス濃度5%で材齢13週は大気中（炭酸ガス濃度0.03%）屋外42年に相当する⁵⁾。MY-BOXを使用した場合、中性化深さは16%小さくなった。また、同一の中性化深さでみた場合、中性化による耐久性は40%向上することが判る。従って、MY-BOXを使用した場合、コンクリートが再練りされて分離が防止され、骨材下面の遷移帯と空隙が減少し、密実なコンクリートを打込むことができると考えられる。

図12 中性化深さ

7. 結び

分離防止装置（MY-BOX）の性能把握を目的に、MY-BOXの使用の有無を実験変数として、コンクリートの性状についての比較を行った。MY-BOXを使用した場合のコンクリートは、MY-BOXを使用しない場合と比べて、次のようになる。

- ・スランプ、空気量共に経時変化が少ない。
- ・引張強度は大きく、長さ変化率・質量変化率は小さい。
- ・ひび割れ面積（ひび割れ長さ×幅）は小さい。
- ・ブリーディング率は少ない。
- ・基礎表面の気泡（直径4mm以上）と、内部の気泡（直径2mm以上）は少ない。
- ・中性化速度は遅くなり、耐久性が向上する。

以上より、MY-BOXを使用することで、コンクリートは、圧送中に生じた材料分離が防止され、水と空気泡の移動と粗大化が防止され、均一で密実なコンクリートが打設できることが判った。

謝辞

実験①の試験体製作・実験実施にあたり、大阪工業大学建築学科 西村泰志教授、二村誠二助教授、馬場望講師のご協力を得ました。ここに記して感謝致します。

参考文献

- 1) 全国コンクリート圧送事業団体連合技術委員会編著：コンクリートポンプ圧送マニュアル，p55，1999.3
- 2) 前田 又兵衛・山田 一字・内田 明：新しい練り混ぜ方法に基づいた連続ミキサの開発と性能特性に関する研究，日本建築学会構造系論文集 第505号，pp.23-30，1998.3
- 3) 深井 公・山西 耐・辻田 耕一・宮木 聡：分離防止装置を用いたコンクリートの性状（その1基礎表面のひび割れと長さ変化），日本建築学会学術講演梗概集（材料施工 A-1），pp.675-676，2005.9
- 4) 宮木 聡・深井 公・小作 重夫・菅原 和彦・辻田 耕一：分離防止装置を使用したコンクリートの性状（その2基礎表面の気泡と促進中性化），日本建築学会学術講演梗概集（材料施工 A-1），pp.677-678，2005.9
- 5) 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，pp.84-88，1991.10

[2006年4月19日原稿受理 2006年7月27日採用決定]