

コンクリートの固定二酸化炭素量分析における前処理手順に関する研究
ーG I 基金事業『CUCO』開発成果ー

東洋大学 学生会員 ○横川 勇輝
東洋大学 正会員 横関 康祐
鹿島建設(株) 正会員 取違 剛 関 健吾

1. はじめに

近年、二酸化炭素を固定化するコンクリートが注目されている。そのため、筆者らは「CUCO® (Carbon Utilized Concrete)」の一員として、二酸化炭素を吸収したコンクリートの固定二酸化炭素量を分析する方法に関する研究開発¹⁾を進めている。しかしながら、分析を行う際の試料の前処理の手順に関しての研究は十分ではないと考えられる。したがって、本研究では水中養生、炭酸化養生を行ったコンクリートの前処理手順のうち、試料の縮分を行うタイミングおよび試料の水分状態が測定結果へ与える影響について検討した。

2. 実験概要

2.1 使用材料・配合

使用した材料の物性を表1に、コンクリート配合を表2に示す。結合材は、高炉セメントB種(BB)、二酸化炭素と選択的に反応する特殊混和材 γ C₂S (γ) を使用した。練混ぜ水は、上水道水(W)を使用した。細骨材は西多摩産の石灰石砕砂(S1)と木更津産の山砂(S2)を使用した。粗骨材(G)は青梅産の碎石を使用した。また、AE減水剤(AD)、AE剤(AE)を使用した。

2.2 供試体作製

供試体はφ100×200mmの円柱供試体を使用した。型枠に打込み後2日間、温度20℃、湿度60%RHで封緘養生を行った後に脱型した。脱型後、一部の供試体は水中養生を14日間行った。また、残りの供試体は側面にアルミテープを施し、温度20℃、湿度50%RH、二酸化炭素濃度80%の環境下で7日間炭酸化養生を行った。

2.3 前処理手順

2.3.1 水中養生

試験ケースを表3に示す。水中養生を行った供試体は養生終了後、供試体を乾式切断機で2等分に切断後、ハンマーとタガネを用いて2cm角程度になるまで全粉碎した。その後、四分法により縮分した試料を再度ハンマーで2mm角程度になるまで粉碎し、乳鉢ですりつぶしを行った。すりつぶしが完了した試料は再度四分法により縮分し、気乾試料として測定に用いた。絶乾試料は2cm角に粉碎し、縮分した残りの試料を3日間アセトンに浸漬後、真空脱気を3日間行った。その後は表乾と同様の手順で測定用の試料を作製した。

2.3.2 炭酸化養生

炭酸化養生を行った供試体は端面から厚さ10mmを乾式切断機で切断した。粉碎前の試験ケースでは、切断

表1 使用材料の物性

記号	物性値
W	密度 1.00g/cm ³
BB	密度 3.04g/cm ³ , 比表面積 3930cm ² /g
γ	密度 2.85g/cm ³ , 比表面積 1500cm ² /g
S1	密度 2.66g/cm ³ , 吸水率 1.54%, F.M.3.06
S2	密度 2.56g/cm ³ , 吸水率 2.16%, F.M.1.44
G	密度 2.67g/cm ³ , 最大粒径 20mm
AD	リグニンスルホン酸化合物とポリオールの複合体
AE	アニリン及びノニオン特殊界面活性剤

表2 コンクリート配合

W/B (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)						試験結果	
		W	BB	γ	S1	S2	G	スラン プ(cm)	空気量 (%)
45	42.8	175	272	117	658	71	996	10.0	4.7
50		175	245	105	671	73	1016	11.0	3.8
55		175	223	95	682	74	1032	12.5	3.4

表3 試験ケース

W/B(%)	養生方法	試料の状態	縮分のタイミング
45.50.55	水中	気乾	粉碎前後
		絶乾	
	炭酸化	気乾	粉碎前
		絶乾	粉碎後

キーワード 環境配慮型コンクリート, CO₂吸収コンクリート, 測定手法, 前処理, クーロメーター, CUCO
連絡先 〒350-8585 埼玉県川越市鯨井2100 東洋大学 理工学研究科 都市環境デザイン専攻

したコンクリート片をタガネにより、四分法で縮分した。その後、縮分した試料をハンマーで 2mm 角程度に全粉砕し、乳鉢ですりつぶし、気乾状態の試料を作製した。

粉砕後に縮分したケースでは、切断したコンクリート片をハンマーで 2mm 角程度に全粉砕し、水中養生の試料と同様の手順で絶乾の試料を作製した。その後、乳鉢ですりつぶしを行い、四分法で縮分を行った。各工程終了後は試料を速やかに密封容器に保存し、なるべく試料を大気中に曝さないようにした。

2.4 試料中の固定二酸化炭素含有量

試料中の二酸化炭素含有量を計測するために、クーロメーター（日本アンス社製、M-3000A 型）を使用した。塩酸濃度は 30%，試験は 3 回行い、平均値を算出し、試験結果とした。平均値から 10%以上外れた結果が出た場合はその結果を棄却し、再度平均値を求めた¹⁾。

3. 実験結果

図 1 に水中養生の試料の二酸化炭素含有量の試験結果を示す。ここで「材料」とは、コンクリートの各材料の二酸化炭素含有量を測定し、各材料の使用量から、二酸化炭素含有量を積算したものである。本研究では、細骨材に石灰石砕砂（CaCO₃）を使用しており、多くの二酸化炭素を含有している。そのため、水中養生の二酸化炭素含有量が大きくなった。また、表乾状態では、試料内部に水分が混入しているため、絶乾に比べ、試料中の二酸化炭素含有量は小さい結果となった。

W/B=50%の絶乾は同一の試料をハンマーで 2mm 角程度に粉砕した後に四分法で縮分した別々の試料を用いて 2 日後に再度測定を行った。コンクリートの固定二酸化炭素量を表す単位は、‘kg-CO₂/m³’が一般的である。コンクリートの単位容積質量は 2300kg/m³程度であるため、試料中の二酸化炭素割合が 1%の差が生じると 20kg 程度の固定二酸化炭素量の差が生じることとなる。W/B=50%の 2 回の試験結果はそれぞれ 2.5%の差、すなわち 57kg-CO₂/m³もの差が生じており、ばらつきが大きいことが分かった。図 1 から、材料に対して、絶乾の結果のばらつきが大きく、どちらの試料状態が二酸化炭素含有量の測定に適しているかは不明であるため、今後も検討していきたい。

図 2 に炭酸化養生を行ったコンクリートの二酸化炭素割合を示す。ここで、図 1 と同様に炭酸化養生前の材料に含まれる割合も併記した。粉砕前に縮分を行った場合は各 W/B で二酸化炭素割合は安定した結果となったが、粉砕後の結果では試験結果にばらつきが生じた。また、W/B=50, 55%の粉砕後では水中養生と同様の手法で再度試料を取り直した。W/B=55%の 1 回目は、炭酸化養生の二酸化炭素割合が、材料の二酸化炭素割合よりも低かった。ここで、表 4 に W/B=55%の 1 回目の試験結果を示す。この結果から、同一試料の測定での偏差は小さいため、測定手法におけるばらつきへの影響ではなく、試料採取時の手順に課題があると思われる。

これらの結果より、粉砕後に縮分した試料から代表的な試料を採取することは難しいと思われる。粉砕前にモルタル部と粗骨材の比率を確認することはある程度可能であるが、粉砕後では、試料中の粗骨材とモルタル部の比率を確認することが難しい。本研究では、細骨材として石灰石微粉末を使用しており、固定二酸化炭素量は非常に多い。そのため、粉砕後に縮分を行う際の石灰石砕砂の混入割合により、データにばらつきが大きくなったのではないかと考える。水中養生の試験結果も同様に粉砕後に縮分を行っているため、これらの影響が生じたと思われる。よって、試料を 2mm 角等、粉末にする前に縮分することがよいと思われる。

謝辞：本成果は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の委託業務（JPNP21014）を受け、革新的カーボンネガティブコンクリートの材料・施工技術及び評価技術の開発で得られた成果である。

参考文献 1) 横川勇輝，横関康祐：炭酸化養生を行ったペーストの固定炭素量の測定方法に関する研究，令和 4 年度土木学会全国大会第 77 回年次学術大会，V-460，2022

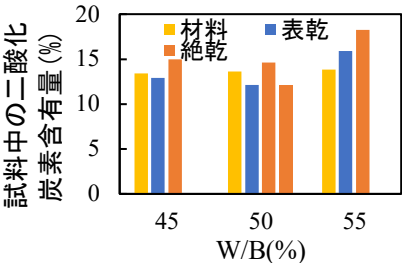


図 1 水中養生の二酸化炭素含有量

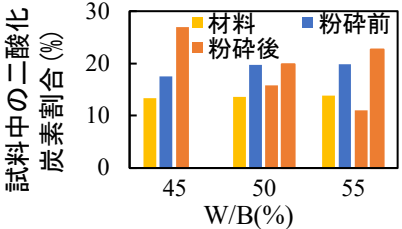


図 2 炭酸化養生の二酸化炭素含有量

表 4 W/B=55%の試験結果の内訳（粉砕後 1 回目）

試験回数	1	2	3	平均
試料中の二酸化炭素含有量(%)	27.9	27.3	27.0	27.4
平均値からの偏差(%)	1.82	0.36	1.46	0