

部分炭酸化コンクリートの力学評価に関する研究

東洋大学 学生会員 ○城島優佳 横川勇輝
東洋大学 正会員 横関康祐
鹿島建設 正会員 取達 剛 関 健吾

1. はじめに

近年、国際的に地球温暖化が問題視されており、脱炭素社会の実現を目指す動きが進んでいる。この対策の一つとして、二酸化炭素を吸収した炭酸化コンクリートが注目されているが、普及・拡大にはいくつかの課題が存在する。炭酸化コンクリートは中性化しているため、通常の鉄筋を使用できず実構造物への利用が限定的となる。また、炭酸化前後では材料物性が変化するため¹⁾²⁾、部材としての力学挙動が不明である。加えて、コンクリートを炭酸化させるためには特別な装置で長期間の養生が必要になり、大量のコンクリートを完全に炭酸化させることは困難である。そのため、短時間で作製可能な部分炭酸化コンクリートの使用が現実的であると予想される。そこで、炭酸化コンクリートを実構造物に鉄筋コンクリートとして用いるために、部分炭酸化したコンクリート梁の曲げ耐力の解析的評価に関する研究を行った。

2. 実験および解析概要

解析では、56日間封緘養生（温度50℃、水分が逸散しないようにビニール袋を密着・密閉）を行った供試体と、4日間封緘養生したのち炭酸化養生（温度50℃、湿度50%RH、CO₂濃度80%）を52日間行った供試体の試験結果を対象とした。配合および強度試験結果を表1に示す。セメントは高炉セメントB種（密度3.04g/cm³、比表面積3930cm²/g）、混和材としてCO₂と反応して硬化する特殊混和材γ-C₂S（密度2.85g/cm³、比表面積1500cm²/g）を使用した。実験は140×110×

900mmの梁供試体の曲げ試験、およびφ100×200mmの円柱供試体で圧縮試験、静弾性係数試験を行った。曲げ荷重載荷方法は、実験で得られた載荷位置における下方変位を強制変位として、1載荷ステップ当たりの増分荷重が0.3kNとなるように与えた。解析プログラムはJCMAC3-Uを使用した。試験ケースを表2に示す。BB炭酸化は全面炭酸化、BB+γ炭酸化は部分炭酸化（6面全ての表面から深さ50mm炭酸化）とした。配筋図と荷重載荷位置を図1に示す。鉄筋はD6、SD345を用いた。鉄筋の熱膨張係数を1.0×10⁻⁵mm/℃、ヤング係数を1.9×10⁵N/mm²、降伏応力を378N/mm²とした。解析モデルを図2に示す。メッシュ寸法は10mmとした。2点載荷で曲げ試験を行った際の挙動を耐荷力解析するとともに、炭酸化深さを試験要因としたパラメーター解析を行った。解析ケースは炭酸化深さ0mm、10mm、30mm、50mmとした。

3. 実験・解析結果

表1より、BBの炭酸化（B炭）およびBB+γの炭酸化（Bγ炭）はφ100mm全面炭酸化した結果、圧縮強度がBBでは封緘養生に比べて1/2に低下したが、BB+γではほとんど低下しなかった。一方、両配合とも炭酸化に伴い静弾性係数が1/2程度まで大きく低下

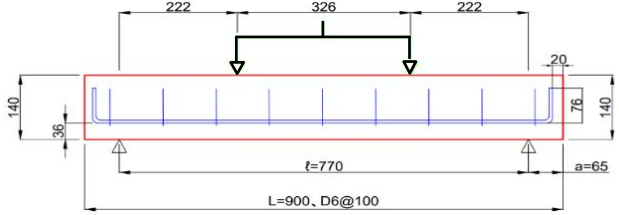


図1 配筋図と荷重載荷位置

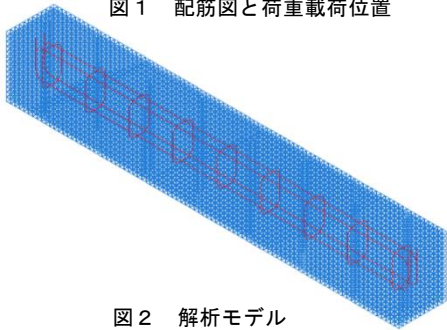


図2 解析モデル

表1 配合および強度試験結果											
ケース	W/B(%)	s/a(%)	Air(%)	単位量(kg/m ³)						圧縮強度(N/mm ²)	静弾性係数(kN/mm ²)
				W	C	γC ₂ S	S粗	S細	G		
B封	55	47	4.5±1.5	169	308	0	748	102	958	P×1.2%	2.5A
B炭				169	308	0	748	102	958	P×1.2%	2.5A
Bγ封				169	216	92	745	101	955	P×1.2%	2.5A

表2 試験ケース				
種類	使用セメント	管理材齢	炭酸化深さ	ポアソン比
BB封緘	高炉セメントB種	56日	—	0.2
BB炭酸化			全面炭酸化	
BB+γ封緘			—	
BB+γ炭酸化			部分炭酸化	

キーワード 炭酸化、耐荷力解析、部分炭酸化、JCMAC3-U、CUCO
連絡先 〒350-8585 埼玉県川越市鯨井 2100 東洋大学理工学部都市環境デザイン学科 TEL049-239-1300

する結果が得られた。これは、供試体の水分状態による影響が考えられる。

最大荷重時（曲げ耐荷力）における実測値と解析値の比較を表3に示す。BB は実測値に対してプラスに差が生じたのに対し、BB+ γ はマイナスに差が生じた。これは、解析条件設定時に γ -C₂S の物性値を十分に考慮できなかったことが要因の一つであると考えられる。しかし、この差は僅かであり、解析は実測を精度良く表していると言える。

セメント種類別の荷重たわみ曲線を図3、図4に示す。解析結果より、炭酸化により最大荷重がBBは4.1%、BB+ γ は7.5%低下した。これは、炭酸化養生により、コンクリートが脆性化したことや、コンクリート物性が一様でなくなったことが要因であると考えられる。一方、最大荷重時の中央たわみには数mmの差が出たものの、その差は僅かであった。これより、炭酸化コンクリートの曲げ挙動に関しては、封緘養生と比較すると曲げ強度が数%低下するものの、たわみへの影響は少ないことが分かった。

次に、パラメーター解析の結果を図5、炭酸化深さと最大荷重の関係を図6に示す。結果より、炭酸化深さの進行に伴い最大荷重およびたわみが低下した。一次式で回帰した結果、決定係数 $R^2=0.891$ となり、炭酸化深さと最大荷重の関係には強い負の相関があることが分かった。炭酸化深さが10mmから20mmに増加するとき、最大荷重の減少率が4.73%と最も大きくなるものの、20mmを超えると最大荷重の減少率は小さくなった。炭酸化深さ50mm程度であれば、最大荷重の低下は3kN程度、たわみは1mm程度であるため、鉄筋径や部材厚を大きくする程の差は生じておらず、炭酸化の進行による曲げ耐力への影響は設計上無視できる範囲であると考えられる。

4. まとめ

部分炭酸化コンクリートの解析では実測を精度良く示すことができた。炭酸化コンクリートは、弾性係数が低下するが、炭酸化深さが50mm程度であれば、曲げ耐荷力やたわみに大きな変化は見られない。圧縮強度が同一で静弾性係数が低下する配合（BB+ γ ）では、ひび割れが発生しづらくなる可能性もあると考えられる。

謝辞：この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（JPNP16002）の結果得られたものです。

表3 最大荷重の実測値との差

ケース	実測値との差(%)
BB封緘	0.78
BB全面炭酸化	0.76
BB+ γ 封緘	-0.92
BB+ γ 部分炭酸化	-0.73

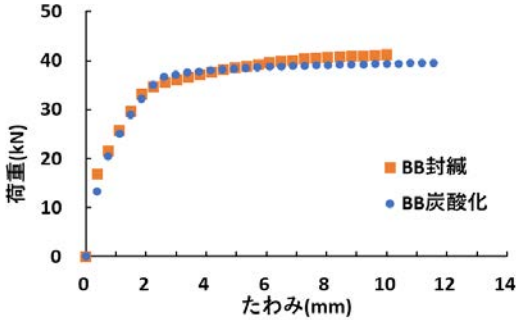


図3 BB解析結果

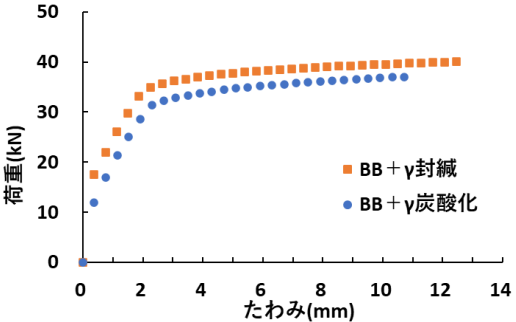


図4 BB+ γ 解析結果

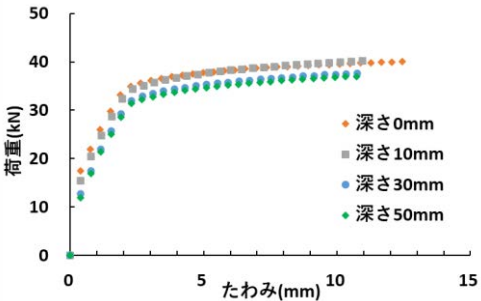


図5 パラメーター解析結果

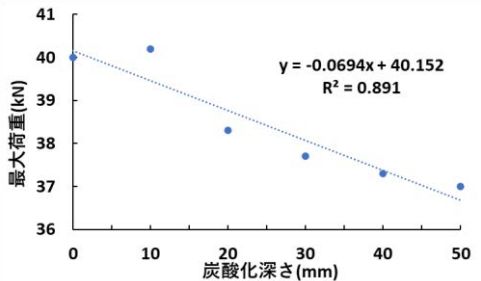


図6 炭酸化深さと最大荷重

参考文献：

1)横関・渡邊・安田・坂田：炭酸化養生によるコンクリートの高耐久化，コンクリート工学年次論文集，Vol.24，No.1，2002
2)佐伯・米山・長滝：中性化によるモルタルの強度変化，土木学会論文集，No.451，V-17，p69～78，1992