マグネシウム系固化材コンクリートの利用に関する基礎的研究

徳山工業高等専門学校　学生会員　○縄田　祥昂
徳山工業高等専門学校　　正会員　　橋本　堅一

1.　はじめに

現在，マグネシウム系固化材(以下Mg固化材とする)は，環境配慮型の舗装材料として遊歩道，公園の園路や広場，路側帯，農業用管理道路，学校関連施設等に使用されている．Mg固化材の特徴として，

① 低アルカリ性であるため動植物に対して悪影響が少なく環境に対して安全である．
② 固化材が不要になれば土に戻すことが可能である．
③ 重金属などに汚染された土壌全般に対して優れた不溶化効果を発揮する．
④ 透水性が良く舗装に適している．

などが挙げられる．しかし，車などの大荷重がかかる駐車場舗装にはMg固化材の使用実績はなく，多くはアスファルトやセメントが舗装材料として用いられている．しかしながら，セメントコンクリートを構成するセメントは強アルカリ性を示し，コンクリートの劣化によりアルカリ溶液が溶け出し動植物に悪影響を与える問題や，一度固まるとリサイクルが困難な材料となってしまう問題がある[1)]．また，Mgコンクリートの舗装では，舗装面の温度上昇が軽減できることが期待される．

そこで本研究では，Mg固化材を使用してコンクリートをつくり，補強筋として竹を入れ，車などの大荷重がかかる駐車場舗装材として実用化できるかどうか検討する．竹を補強材として使用する理由は，Mgコンクリートの補強材として鉄筋を使用するのは難しいと考えられるからである．これは，Mg固化材は強アルカリ性のセメントと違い弱アルカリ性を示すため，鉄筋が腐食する可能性を有しているからである．

2.　実験方法

2.1　配合設計

Mgコンクリートは明確な配合設計がなく，コンクリート配合で作成した場合，ワーカビリチー等の特性に関して不明な点が多いため，コンクリートの配合設計方法(設計スランプ値8cm)に従い，スランプ10cm前後になるように配合を調整した．Mgコンクリートは，セメントコンクリートと同じ水固化材比で配合しても水量が足らず固体に近くなる特徴がある．よってワーカビリチーを考慮して水量を調節した結果，水固化材比0.8，0.7として配合設計例を**表-1**に示す．設計した配合で28日の気中養生をした後，強度試験を行う．なお，Mg固化材の密度は3.55g/cm³，細骨材は海砂を使用しその密度は2.60g/cm³，粗骨材比は2.67g/cm³，細骨材率45％で計算した．

表-1　配合設計

W/Mg	W (kg/m^3)	Mg (kg/m^3)	S (kg/m^3)	G (kg/m^3)
0.8	240	300	720	902
0.7	240	343	720	902

W/Mg：水固化材比，W：水，Mg：マグネシウム系固化材，S：細骨材，G：粗骨材

2.2　供試体と型枠

今回の実験で使用する供試体は，コンクリートの標準供試体の円筒供試体型枠(φ100mm×200mm)，曲げ供試体型枠(150mm×150mm×530mm)を用いた．配筋は，竹を約 10mm×10mm の断面を有する棒状に割裂し，それを主筋とし，圧縮供試体には 4 本，曲げ供試体には 8 本配筋した．圧縮供試体柱の帯筋にはφ60mm の竹を 10mm の厚さに切ったものを用いた．その帯筋を 3 本タコ糸により主筋に組み上げた．曲げ供試体梁のあばら筋は，5mm×2mm の市販の竹材を用い，ガスバーナーで正方形に折り曲げ，5 本を主筋および腹筋にタコ糸で組み上げた．それらを円柱供試体型枠(φ100mm×200mm)，曲げ供試体型枠(150mm×150mm×530mm)に入るようにするため，帯筋はφ60mm とし，あばら筋の一辺の長さは 110mm とした．そして，打った後に竹が水を吸ってコンクリートにひび割れを生じさせないように，竹の表面にペンキで塗装を施した．配筋の様子を**写真-1，2**に示す．

写真-1　型枠への配筋(圧縮供試体)

写真-2　型枠への配筋(曲げ供試体)

2.3 強度試験

Mg コンクリートの圧縮強度試験方法はコンクリートの圧縮強度試験方法(JIS A 1108)に準拠して行った．コンクリートの圧縮強度試験では載荷初期から非線形を有するため，破壊時(荷重ピーク時)の応力を破壊強さとしている．ただし，コンクリートの圧縮強度試験は荷重の偏心が生じやすいため，一様な圧縮応力が加わるようにしなければならない．すなわち，材料試験機に円柱供試体を載せ圧縮荷重の載荷軸を供試体の中心線に正しく一致させ，その軸力方向に応力が一様に加わるようにする．供試体に衝撃を与えないように，変位制御方式で 0.6×10^{3}mm/sec の一様な載荷速度で供試体に荷重を加え，供試体が破壊するまで載荷した．試験機が示す最大荷重を用いて，圧縮強度を計算した．また，供試体の載荷軸方向および載荷軸方向に垂直な方向にはゲージ長 60mm の電気抵抗線ひずみゲージを各 2 枚貼り付け，縦ひずみと横ひずみを計測した．圧縮試験の様子を**写真-3** に示す．

Mg コンクリートの曲げ強度試験方法はコンクリートの曲げ強度試験方法(JIS A 1106)に準拠して行う．支承の幅は 45cm とし，供試体をコンクリートの型枠に詰めたときの側面を上下の面として支承の幅の中央に置く．スパンの 3 等分点の内側の 2 点に，2 つの上部加圧装置を接触させる．この場合，載荷装置の接触面と供試体の面との間にどこにも隙間がないようにする．供試体に衝撃を与えないように，一様な速度で荷重を加え，変位制御方式を使い，荷重を加える速度は，縁応力度の増加率が毎秒 0.1N/mm²となるようにする．供試体が破壊するまで載荷を行い，試験機が示す最大荷重を用いて，曲げ強度を計算した．また，供試体の底面の載荷軸方向に，ゲージ長 60mm の電気抵抗線ひずみゲージを各 2 枚貼り付け，曲げひずみを計測した．

3. 実験結果

3.1 強度試験

圧縮試験の結果は，**表-2**より，竹筋を入れてない時より，竹筋を入れた時の方が強度が小さくなった．これは，主筋の長さが短すぎたことと竹筋とコンクリートの付着が期待できないことによるものと考えられる．引張試験の結果は，**表-3**より，竹筋を入れることによって強度が大きくなった．このことから，竹が引張に対して十分な強度が得られたと考えられる[2]．しかしながら，予想されていたほどの大幅な強度増加はなかった．この原因として，竹とコンクリートの付着が不十分だったと考えられる．今後の実験では，竹に凹凸の窪みをあらかじめつけて，コンクリートと付着しやすいように加工を施す必要があると考えられる．そうすることでさらなる強度増加が見込める．**写真-4**に曲げ供試体の破壊の様子を示した．これを見ると，供試体がせん断破壊していることがわかる．鉄筋コンクリートは通常，急激に強度が低下するせん断破壊が起こらないようにスターラップ等でせん断補強を行い，せん断破壊を防ぐ．竹を配筋したMgコンクリートも曲げ供試体内に格子状に竹を配筋し擬似的なせん断補強を期待したが，せん断破壊が生じてしまった．このことは，格子状に組む際，タコ糸で組んだため格子間同士の接合が弱く，せん断補強筋の役割を果たす予定であった竹がずれたことやMgコンクリート自体の強度の弱さ，竹の配筋量の多少や竹自体の断面の大きさなど様々な要因が考えられる．以上のことは鉄筋コンクリートと同じ扱いを考えるうえで，今後の重要な課題である考えられる．

表-2 圧縮強度試験結果

供試体	W/Mg	竹筋	圧縮強度(N/mm^2)
①	0.8	無	16.3
②	0.8	無	11.9
③	0.8	有	12.9
④	0.8	有	9.65
⑤	0.7	無	8.15
⑥	0.7	無	11.4
⑦	0.7	無	7.74

表-3 曲げ強度試験結果

供試体	W/Mg	竹筋	曲げ強度(N/mm^2)
①	0.8	無	2.51
②	0.8	無	2.92
③	0.8	有	4.01
④	0.8	有	4.58

写真-3 圧縮試験の様子

写真-4 曲げ試験後の供試体

3.2　強度変形特性に及ぼす竹筋の影響

図-1，2 は竹筋がある場合とない場合の応力とひずみ関係を示す．ここで，⊙が縦ひずみ，▣が横ひずみ，◈が体積ひずみである．竹を配筋することでひずみが大きくなっていることがわかる．これにより破壊の脆性度が緩和されている．

図-3，4 は載荷荷重と曲げひずみの関係を示している．これより，竹を配筋することで，コンクリートが一気に破壊するのを防げたことがわかる．これらのことより，竹を配筋することで少なくとも部材の急激な破壊は防ぐことができることがわかった．

4.　おわりに

本研究では，低アルカリ性で動植物への影響が少ない，Mg固化材を結合材として使用し，さらに現在環境問題を引き起こす原因となっていて，有効活用しなくてはならない竹を，引張補強材として使用してコンクリートを作製した．本実験の結果より，以下のことが明らかになった．

1. 圧縮強度において，竹を配筋することによって強度が小さくなったが，かぶりや竹とコンクリートの付着の改善を施せば強度が大きくなる可能性がある．

2. 曲げ試験においては，竹を配筋することで強度が大きくなった．これは，竹が引張に対して十分な強度が得られたからだと考えられる．しかし，予想されていたほど大幅な強度増加がみられなかったことから，付着について改善の余地があると考えられる．

3. 強度変位特性に及ぼす竹筋の影響としては，竹を配筋することで，竹がしなり荷重に対して粘りを発揮し，コンクリートが一気に破壊するのを防げたと考えられる．

竹に有効な処置を施し，コンクリートの施工方法を工夫すれば，駐車場舗装として実現可能なものに出来るが，耐摩耗性やすべり抵抗，騒音の発生に対しても検討しなければならない．

現在，Mg製品は様々な分野で環境改善に活用されている．埋立地の舗装などに用いられ，重金属の不溶化やヒートアイランド現象の防止といった効果が期待されている．実用化が現実的になれば，今後環境改善において重要な駐車場舗装材料になっていくと考える．

[参考文献]

1) 山田順二，有泉晶：わかりやすいセメントコンクリートとコンクリートの知識，p.22，1999

2) 多田尊紀，橋本堅一，島袋淳：構造材料としての竹の特性について，2008年度日本建設学会中国支部研究報告集，第32巻，CD-ROM，112，2009.

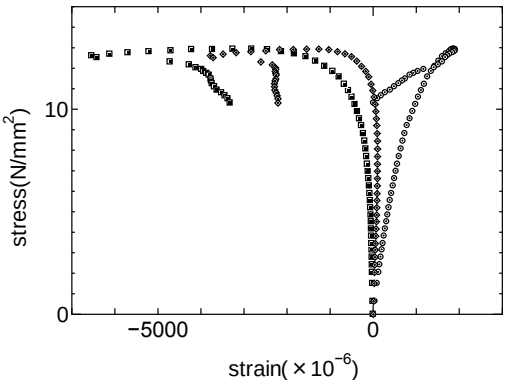

図-1　圧縮応力ひずみ関係（竹筋）

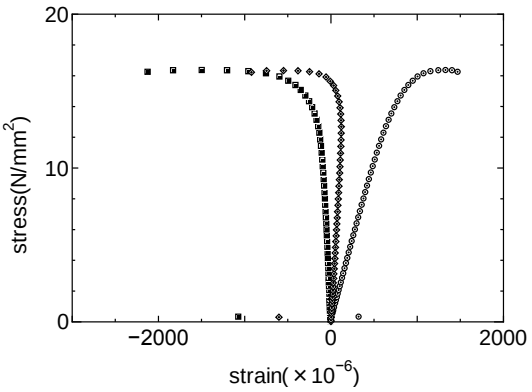

図-2　圧縮応力ひずみ関係（無筋）

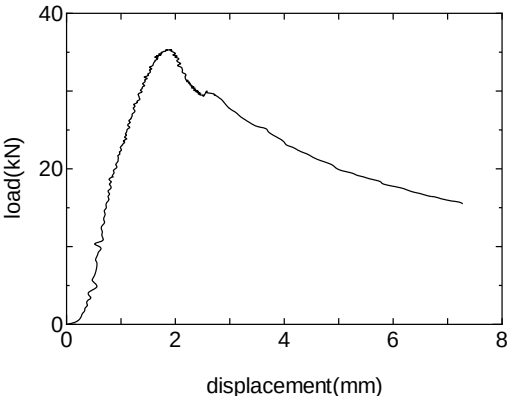

図-3　曲げ荷重変位関係（竹筋）

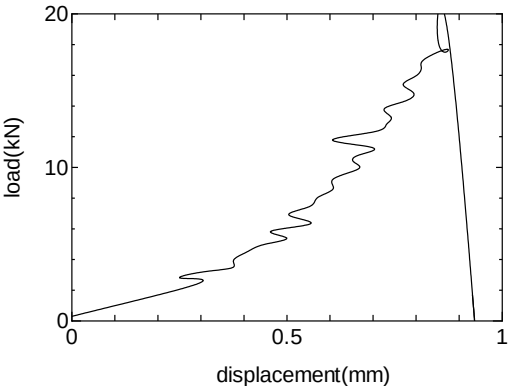

図-4　曲げ荷重変位関係（無筋）