

# 論文 カルシウム溶脱によるウッドチップ混入ポーラスモルタルの曲げ強度変化

鈴木 裕二<sup>\*1</sup>・半井 健一郎<sup>\*2</sup>・森 勝伸<sup>\*3</sup>・小林 祐介<sup>\*4</sup>

**要旨:** 本研究では、ウッドチップ混入ポーラスモルタルのCa溶脱による強度変化を検討した。まず、曲げ強度の評価に先立ち、強度変化の含水比依存性に関する基礎的な検討を行った結果、供試体内の湿潤状態が不均一な場合には曲げ強度のばらつきが大きく、また、含水率が高いほど強度が低下する傾向を確認した。次に、純水と塩水への浸漬による溶脱促進試験を実施した劣化供試体の曲げ強度試験を行った結果、塩水浸漬の方が純水浸漬よりもCa溶脱が速く進むことが確認された。また、曲げ強度は浸漬溶液の違いによらず溶脱割合と関係があり、溶脱初期に大きく低下した後、その低下は緩やかになることが示された。

**キーワード:** ウッドチップ, ポーラス, カルシウム溶脱, 耐久性, 曲げ強度, 含水比, カルシウム吸着

## 1. はじめに

廃木材を再利用することは、環境負荷低減の観点から重要である。これまでセメント分野では、廃木材を主にセメント製造時の燃料として利用してきた。しかし近年では、廃木材をチップ化したもの（以下ウッドチップと称す）をコンクリート骨材として、セメントと混合することで、軽量化やコスト縮減を目指した検討も行われている。用途としては、たとえば橋梁歩道用舗装コンクリートへの適用性が検討されている。これまでに、圧縮強度、引張強度、曲げ強度に対するウッドチップの種類や混合率、水セメント比の影響を検討した研究<sup>1)</sup>があり、ウッドチップの混合率および水セメント比が高いほど、各種強度が低下することが示されている。一方、耐久性に関する研究は、これまでのところ行われていない。

また、ポーラスモルタルの骨材としてウッドチップを用いた、ウッドチップ混入ポーラスモルタルの検討も行われている。吸水・保水性のみならず、高い重金属吸着性能を有するなど、廃木材利用の新たな可能性を見出し、透水性舗装のほか、工業廃水処理などへの適用が検討されている<sup>2)</sup>。今後の本格的な実用化のためには、耐久性に関する検討が必要と考えられる。常時水と接する環境での使用を想定した場合、カルシウム溶脱劣化の可能性もある。溶脱劣化は、コンクリートをはじめとする一般のセメント系材料を対象とした検討事例は多く、外部からの水との接触によるセメント硬化体からのカルシウムの溶脱により、組織が空疎化し、強度をはじめとした各種性能が低下することが確認されている<sup>たとえば3)</sup>。また、塩化物イオンの影響により、カルシウムの溶脱が促進されることも報告されている<sup>4)</sup>。セメント改良土のような

ポーラスなセメント系材料では溶脱劣化の進行も速くなること<sup>5)</sup>から、ウッドチップ混入ポーラスモルタルでも早期に問題となる可能性がある。

そこで本研究では、多機能性が期待されるウッドチップ混入ポーラスモルタルを対象とし、その耐久性に関し、カルシウム溶脱劣化に着目した検討を行った。イオン交換水、塩化ナトリウム水溶液の2種類の浸漬条件下による溶脱促進試験によって、カルシウムを溶脱させた供試体の曲げ強度試験を行い、曲げ強度を浸漬開始前の初期強度と比較した。また、コンクリートの強度変化の検討において、供試体の含水比の変化によって、各種強度が変化することが報告されている<sup>6)</sup>。ウッドチップ混入ポーラスモルタルにおいても、浸漬による含水比の変化により、同様の変化が起こると考えられる。そのため、溶脱促進試験を実施した供試体の曲げ強度を検討するにあたり、含水比の違いによる曲げ強度試験への影響に関した基礎的な検討も合わせて行った。

## 2. 含水比の違いによる強度変化の検討

本研究において、溶脱促進試験を行った劣化供試体の強度を、浸漬開始前の初期強度と比較する上では、供試体の含水比の影響を検討しておく必要がある。溶脱促進した劣化供試体では長期の浸漬試験中に含水比が増加するのに対して、浸漬開始前の供試体は気中養生後であり、そのままでは含水比が低い。この含水比の違いにより、同一配合・養生条件の供試体であっても、測定される強度が変化することが考えられるからである。そこで本章では、溶脱劣化の検討に先立ち、含水比の違いが曲げ強度へ与える影響を検討することとした。

\*1 群馬大学大学院 工学研究科社会環境デザイン工学専攻 (正会員)

\*2 群馬大学大学院 工学研究科准教授 博士(工学) (正会員)

\*3 群馬大学大学院 工学研究科准教授 博士(地球環境科学) (非会員)

\*4 小林工業株式会社 営業部 部長 (非会員)

## 2.1 実験概要

### (1) 供試体

供試体には、川砂（粒径 0.15~10mm）、ウッドチップ（最大粒径 30 mm）、セメント系固化材、水道水を使用した。供試体の配合条件を表-1 に示す。川砂、ウッドチップ、セメント系固化材、水を攪拌混合したものを型枠に投入し、振動プレスにより 300×300×60mm の平板を成型し、気中養生を行った。水セメント比は約 30% とした。約 90 日の気中養生後、平板の両端 50mm を切り落としてから 2 分割し、300×100×60mm の角柱供試体を作製した。なお 100×60mm の側面は、切断面であり、ウッドチップ、砂が表面露出している。供試体数は、後述する浸漬、乾燥条件ごとに 3~6 体とした。JIS R 5204 に準拠して測定したセメント系固化材の化学組成を表-2 に示す。

### (2) 浸漬および乾燥

供試体の含水比を変化させるため、浸漬および乾燥を行った。浸漬および乾燥条件を表-3 に示す。N シリーズでは、気中養生後の含水比における曲げ強度算定を行うため、浸漬および乾燥を行わなかった。WD シリーズでは、含水比を変化させるため浸漬、乾燥を行った。浸漬は、浸漬水をイオン交換水としたが、供試体に対する浸漬水の質量比（液固比）を 0.6 と極力小さくすることで、浸漬中の溶脱の影響がなるべく小さくなるようにした。浸漬期間は 1, 7 日とした。乾燥は、浸漬後に温度 20±3℃、相対湿度 60±5% の室内で静置させた。ここで、供試体を全面から乾燥させるため、供試体の下面を床面から 50mm 離れた。乾燥期間は 0, 1, 7, 14, 20 日とした。また、W シリーズでは、WD シリーズと同様に液固比を 0.6 のイオン交換水に供試体を浸漬させた後、供試体内部まで均一に湿潤させるため、デシケータ内で 2 日間の減圧吸水を実施した。

### (3) 曲げ強度試験

所定の浸漬、乾燥が終了した供試体に対して、曲げ強度試験を行った。曲げ強度試験は、JIS A 1106 を参考に、荷重は 2 点載荷とし、荷重速度は毎分 0.1~0.2N/mm<sup>2</sup> とした。また W シリーズの試験時は、粗大空隙からの水分の逸脱を防ぐため、供試体をビニールで包み、水中に供試体が浸漬した状態で行った。

### (4) 含水比の測定

曲げ強度試験後、供試体全体の質量を測定し、105℃ の乾燥炉で 24 時間の乾燥を行った。乾燥後の質量を測定し、乾燥前との質量差から式(1)を用いて含水比を求めた。

$$w = \frac{m - m_d}{m_d} \times 100 \quad (1)$$

ここで、w: 含水比(%), m: 曲げ強度試験後の質量(g), m<sub>d</sub>: 乾燥後の質量(g)である。ただし、W シリーズにおいては、曲げ強度試験後の質量測定の際に、粗大空隙から

表-1 供試体の配合条件

W/C %	砂:ウッドチップ:セメント (嵩体積比)	空隙率 %
30	31 : 49 : 20	30

表-2 使用セメント系固化材の化学組成

化学組成(%)					
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>
23.0	5.0	2.0	60.0	2.0	2.2

表-3 浸漬、乾燥条件

シリーズ名	浸漬・減圧吸水期間	乾燥期間	液固比
	日	日	
N	0	0	—
WD (浸漬,乾燥)	1	0	0.6
		1	
		7	
	7	0	
		1	
		7	
		14	
20			
W (減圧吸水)	2	0	

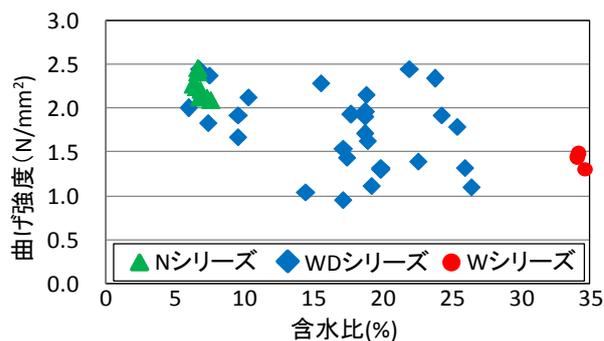


図-1 含水比と曲げ強度

水分が逸脱するため、浸漬水から出したのち、10 秒後の質量を測定している。また、含水比は供試体内でばらつきがあると考えられる場合も、供試体全体の平均値とした。

## 2.2 実験結果

含水比と曲げ強度の関係を図-1 に示す。まず、含水比が供試体内で一様であると考えられる N シリーズと W シリーズの曲げ強度を比較する。供試体内を一様に湿潤させた W シリーズの曲げ強度は、浸漬を行わない N シリーズの曲げ強度の 1/2 程度である。これは、湿潤によって骨材間の毛管作用による表面張力効果が減少したためと考えられる。また、ひび割れへ水分が侵入し、ひび割れを促進させることで、破壊に必要な外部からのエネルギーが減少した可能性もある。

次に曲げ強度のばらつきを検討する。図-1 より浸漬を行わない N シリーズ、または供試体内を一様に湿潤させた W シリーズでは、曲げ強度のばらつきが小さい。一方で、浸漬および乾燥をおこなった WD シリーズでは、含水比 7% 以下では、曲げ強度のばらつきが N および W

シリーズのばらつきと同程度であったのに対し、7%より大きい場合、ばらつきはNおよびWシリーズの3倍程度まで大きくなった。

含水比が7%より大きいWDシリーズでは、曲げ強度試験後の破断面の観察において、供試体周辺部では十分に湿潤しているものの、供試体中央部では乾燥していることや、圧縮縁側と引張縁側で湿潤面積が異なるなど、供試体内部での湿潤状態が不均一であったことが確認された。このことより、供試体周辺部が湿潤膨張する際に、圧縮縁側と引張縁側での湿潤程度の差によって、供試体内部に正または負の曲げ応力が発生し、曲げ強度に大きなばらつきが生じたものと考えられる。

一方、含水比7%以下のWDシリーズでは、破断面の観察において、明確な湿潤、乾燥の違いが確認されなかったことから、ばらつきが小さくなったと考えられる。このことは、乾燥による質量変化が、1日当たり供試体質量の約0.05%以下と十分に小さくなったことから、含水比が7%以下では、供試体内が一様に乾燥していると考えられる。

### 3. ウッドチップおよび砂の飽和カルシウム吸着量の把握

#### 3.1 振とうによるカルシウム吸着試験

溶脱挙動の考察のため、溶脱カルシウムがウッドチップ、骨材に吸着される可能性に着目し、各カルシウム飽和吸着量を把握するためのカルシウム吸着試験を行った。試験条件を表-4に示す。密栓付き振とう容器に水酸化カルシウム溶液30mLを量り取り、これにウッドチップまたは砂を表-4に示す通り加えて密栓し、恒温槽(30℃)を擁する振とう機により振とうさせた。水酸化カルシウム溶液は、蒸留水2Lに対して水酸化カルシウムを4g加え、密栓し、30分間の攪拌を行った後に1週間静置し、上澄み液を用いた。また、ウッドチップおよび砂は、2.1(1)で用いた試料と同様のものを使用した。振とう速度は150rpmとし、振とう時間は90分とした。

また、カルシウム吸着とは別に、振とう中における空気中の二酸化炭素との反応による炭酸化的影響を評価するため、ウッドチップまたは砂を加えない振とう容器についても、上記と同様の作業を行った。

振とう終了後、濾過を行って溶液をサンプリングし、原子吸光分光光度計を用いて、溶液中のカルシウム濃度(平衡カルシウム濃度)の測定を行った。平衡カルシウム濃度と溶液量の積から、溶液中の残存カルシウム量を求めた。試料数はウッドチップ、砂ともに使用量ごとに3試料とした。

#### 3.2 ウッドチップおよび砂のカルシウム吸着量

実験結果を用いてウッドチップおよび砂の飽和カルシウム吸着量を求めるため、既往の研究<sup>2)</sup>を参考に、

表-4 吸着試験条件

使用材料	使用量	水酸化カルシウム溶液量
	g	ml
ウッドチップ	0.1	30
	0.2	
	0.5	
	1.0	
	1.5	
	2.0	
砂	0.5	
	0.8	
	1.0	
	1.5	
	2.0	
	3.0	

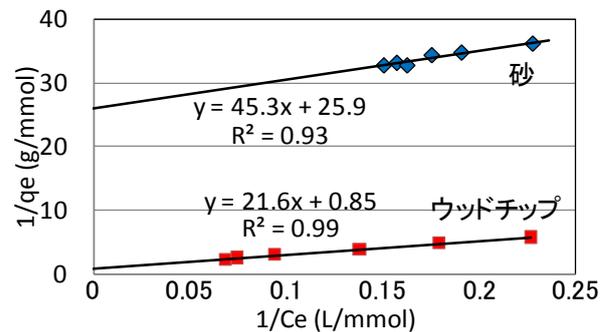


図-2 カルシウム吸着のLangmuirプロット

Langmuir型の吸着等温線の適用を試みた。初めに、本測定中の炭酸化による溶液中のカルシウム消費量を算出した結果、全カルシウム量のうち12%であった。この炭酸化の影響を考慮するため、ウッドチップまたは砂を加えない試料と、加えた試料の残存カルシウム量の差をウッドチップまたは砂が吸着したカルシウム量とすることとした。溶液中のウッドチップまたは砂の分量と両者のカルシウム吸着量の関係を基としたLangmuir型の吸着等温線を図-2に示す。ここで、Langmuir型の吸着等温線は式(2)で表される<sup>7)</sup>が、この式は非線形であるため、係数算出が困難である。よって、式(2)を式(3)のように変形し、左辺を1/qeに対してプロットし、近似直線の切片から飽和吸着量を算出した。なお、実験値は使用量ごとに行った3試料の平均値を用いた。

$$q_e = \frac{Q^0 \cdot b \cdot C_e}{1 + b \cdot C_e} \quad (2)$$

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{Q^0 \cdot b} \cdot \frac{1}{C_e} + \frac{1}{Q^0} \quad (3)$$

ここで、 $q_e$ : 単位重量あたりの吸着量 (mmol/g)、 $Q^0$ : 飽和吸着量 (mmol/g)、 $C_e$ : 平衡カルシウム濃度 (mmol/L)、 $b$ : 吸着平衡定数である。

図-2より、今回の測定結果はLangmuir型吸着等温線によって良好に表現されることから、既往の研究<sup>2)</sup>と同様に、この吸着等温線から飽和カルシウム吸着量の算出を行った。その結果、ウッドチップでは約1.18mmol/g、砂で

は約0.039mmol/gであり、ウッドチップは砂の約30倍の吸着量を示した。これは、既往のウッドチップにおける重金属吸着性能<sup>2)</sup>でも示されたように、ウッドチップの主成分であるリグニンには、フェノール性水酸基のような錯形成サイトが多数含まれているためであると考えられる。

一方、カルシウム溶脱に対する影響について、溶脱促進試験に用いられる供試体のウッドチップまたは砂が吸着する飽和カルシウム吸着量を算出した結果、供試体の全カルシウム量の内、ウッドチップでは約2.4%、砂では約0.46%であった。なお、供試体中のウッドチップおよび砂は、切断面を除き、表面がセメントペーストでコーティングされた状態であるが、2.2で示す通り、供試体内部まで湿潤することから、セメントペーストによるカルシウム吸着への影響は少ないと推察する。

#### 4. 作用水の影響による溶脱挙動および強度変化の検討

##### 4.1 実験概要

###### (1) 供試体

供試体は 2.1(1)と同様の条件で作製した。ただし、養生条件として 2.1(1)と同様に気中養生を行った DA シリーズ、ソーダライムによって空気中の二酸化炭素を極力除去した試験機内での気中養生を行った DN シリーズの 2 シリーズを作製した。DN シリーズにより、DA シリーズにおける気中養生中の表層部の炭酸化が、溶脱に与える影響を検討することとした。供試体数は、後述する試験条件ごとにいずれも 3 体とした。

###### (2) 浸漬溶脱促進試験

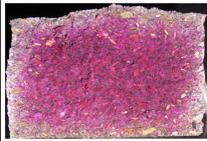
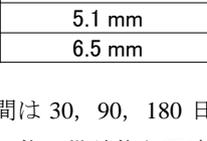
試験条件を表-5 に示す。浸漬溶液による劣化の違いを検討するため、純水浸漬および塩水浸漬を行った。浸漬溶液はそれぞれ、イオン交換水および海水と同程度の 3mass% の塩化ナトリウム水溶液とし、液固比は 3 とした。浸漬試験を行う際に、後の曲げ強度試験における載荷点および支点の著しい劣化を防ぐために、アルミテープにより該当箇所 (各幅 10mm) を保護した。浸漬試験中は、ポンプを用いて 1 時間に 15 分間の攪拌を行い、溶液交換を 1, 3 日目および 7, 14~175 日目までの 7 日ごとに行った。溶液を交換するごとに、交換直前の水をサンプリングし、原子吸光分光光度計を用いて、交換直前の浸漬液中の溶脱カルシウム濃度を測定した。なお、大気中の CO<sub>2</sub> の溶解を低減するためにビニールシートで開放面を覆ったが、炭酸化の影響は厳密には排除できていない。ただし、各供試体を同一条件で試験しているため、後述する考察においては、炭酸化の影響を無視することとした。

また、劣化供試体とは別に、水中での水和進行などの影響を評価するため、液固比が 0.6 のイオン交換水で浸漬させ、浸漬溶液の攪拌および交換を行わずに、浸漬中の溶脱の影響を極力抑えた上で、水中養生を行った。

表-5 溶脱促進試験条件

環境条件	浸漬液の種類	液固比	浸漬期間
			日
浸漬無し	—	—	0
水中養生	イオン交換水	0.6	30
			90
			180
純水浸漬	イオン交換水	3	30
			90
			180
塩水浸漬	塩化ナトリウム水溶液	3	30
			90
			180

表-6 気中養生における炭酸化状況

シリーズ名		DA	DN
写真	引張縁		
	圧縮縁		
中性化	高さ方向	5.1 mm	0.0 mm
深さ	幅方向	6.5 mm	0.0 mm

各浸漬、養生期間は 30, 90, 180 日とし、1 つの容器に試験条件ごとの 3 体の供試体を同時に浸漬させた。ただし、DN シリーズは浸漬期間 180 日のみ行った。また、初期強度算定のため、浸漬試験を実施しない供試体も(3)以降の試験を行った。

###### (3) 曲げ強度試験

曲げ強度のばらつきを抑えるため、溶脱促進試験または水中養生を行った供試体は、曲げ強度試験前に乾燥を行った。乾燥は、2.1(2)と同様の方法で行い、乾燥による質量変化が 1 日当たり供試体質量の約 0.05% 以下になるまで、十分に乾燥させた。曲げ強度は、2.1(3)と同様に 2 点載荷とし、載荷速度は毎分 0.1~0.2N/mm<sup>2</sup> とした。

###### (4) 中性化深さの測定

気中養生における炭酸化および溶脱促進試験によるカルシウム溶脱の範囲を検討するため、曲げ強度試験後の破断面において中性化深さの測定を行った。測定は、JIS A 1152 に準拠して行った。

#### 4.2 実験結果

##### (1) 気中養生における表層部の炭酸化

DA, DN シリーズにおける溶脱促進試験開始前の供試体破断面の中性化状況を表-6 に示す。本研究では、3 体の供試体について同条件の測定を実施したが、中性化深さの数値は 3 体の平均値を、写真は 3 体のうちの 1 体を示している。表-6 より DA シリーズでは、溶脱促進試験開始前の段階において、高さ方向で平均 5.1mm、幅方向で平均 6.5mm の炭酸化が確認された。

##### (2) カルシウムの溶脱状況

溶脱カルシウム濃度の経時変化を図-3 に示す。なお、図中の○は、溶液交換までの期間が標準の 2 倍の 14 日

となった、DA シリーズの純水、塩水浸漬 180 日の試験における 77 日目の溶脱カルシウム濃度を示している。また、溶脱割合の経時変化を図-4 に示す。ここで、溶脱割合とは、溶脱カルシウム量を溶脱前の供試体の全カルシウム量で除した値とする。全カルシウム量は、供試体中のカルシウムはセメント系固化材中のみに存在すると仮定し、セメントの配合設計比と化学組成から求めた。また、溶脱カルシウム量は、浸漬水量および溶脱カルシウム濃度の積の累積から求めた。溶脱割合を用いることで、供試体ごとに含まれるカルシウム量の差を考慮した。

図-3、4 において浸漬液による溶脱挙動の違いを比較すると、純水浸漬よりも塩水浸漬の方が溶脱カルシウム濃度が高く、溶脱割合も大きくなるのが分かる。これは、既往のセメント系材料における研究<sup>4)</sup>と同様の傾向を示しており、イオン強度の増大によって水酸化カルシウムなどの溶解度が上昇したためであると考えられる。また、浸漬溶液に含まれるナトリウムイオンと、C-S-H ゲルのカルシウムイオンの間での交換反応なども関与している可能性がある<sup>4)</sup>が、詳細は、今後の検討課題としたい。

図-3 より、最大溶脱カルシウム濃度に注目すると、DA シリーズの最大溶脱カルシウム濃度は塩水浸漬、純水浸漬のいずれにおいても DN シリーズの最大溶脱カルシウムを下回っている。これは、4.2(1)より DA シリーズでは、供試体表層部の炭酸化を確認することができ、気中養生中の炭酸化により、カルシウムの溶脱が抑制されたためと考えられる。しかし、DN シリーズにおいても最大溶脱カルシウム濃度は、純水浸漬で 10mmol/L 程度であり、塩水浸漬においても 15mmol/L 程度と、飽和カルシウム濃度の約 22mmol/L よりも低い。これは、カルシウム溶脱の進行が緩やかであるため、本試験における溶液交換期間では、飽和に至らなかったためであると考えられる。

### (3) 曲げ強度の経時変化

DA シリーズにおける曲げ強度の経時変化を図-5 に示す。なお、図には 3 体の平均曲げ強度を示した。また、2.2 で示したように、曲げ強度は含水状態の影響を大きく受けるため、供試体全体が一様に乾燥したと考えられる含水比 7%以下の状態で試験を行った。浸漬開始前の初期強度と比較して、水中養生 30、90、180 日の供試体では曲げ強度が約 1.5 倍に増加していることが分かる。これは、供試体の水セメント比が約 30%と低く、また、気中養生であったために、多量に残存していた未水和セメントが、その後の水中養生によって反応したためだと考えられる。浸漬 30 日以降では水中養生期間の違いによる強度増加の違いがほとんど見られないことから、未水和セメントの反応は浸漬期間 30 日までに生じたと考えられる。

浸漬開始前の初期強度と各溶脱促進試験後の曲げ強度を比較すると、強度の増減が確認できるものの、明確

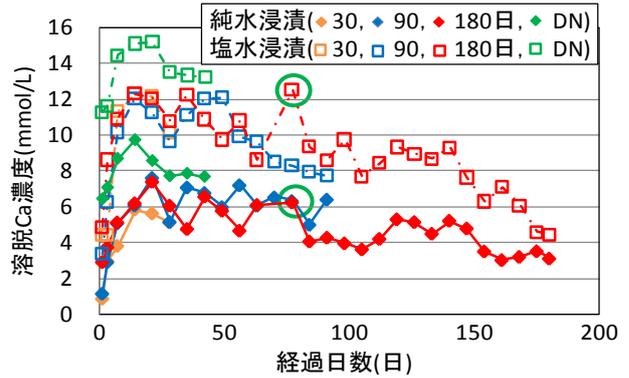


図-3 溶脱 Ca 濃度の経時変化

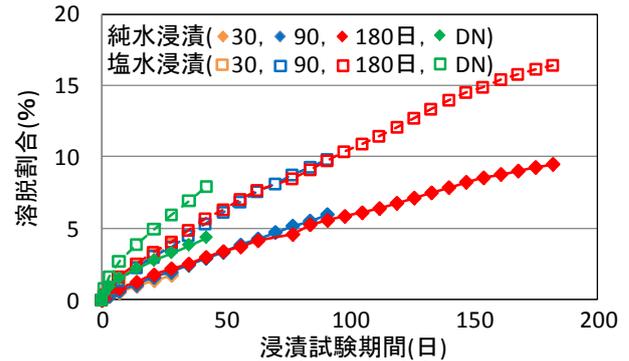


図-4 溶脱割合の経時変化

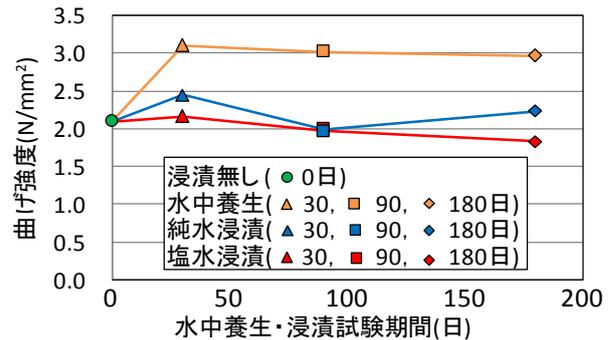


図-5 曲げ強度の経時変化

な強度低下は認められなかった。これは、溶脱と未水和セメントの反応が同時に生じたためと考えられる。なお、作用水の影響については、同じ浸漬期間において、塩水浸漬の曲げ強度は、純水浸漬と比較して同程度、もしくは低下する結果となった。

### (4) 溶脱割合と強度比の検討

溶脱割合と強度比の関係を図-6 に示す。ここで強度比とは、浸漬期間中の未水和セメントの反応による強度増加を除いて、溶脱の曲げ強度への影響を議論するため、各浸漬条件における平均曲げ強度を、浸漬、養生期間が同じ水中養生の平均曲げ強度で除した値である。なお、3.2 より、ウッドチップなどのカルシウム吸着により、溶脱割合を過小評価している可能性があるが、各供試体で同条件のため、傾向を考察する上で考慮していない。

図-6 より、溶脱割合が増加するとともに、強度比が低下し、溶脱による強度低下が確認できる。強度低下の傾向は、浸漬溶液によらず、ほぼ同様の傾向を示してい

る。溶脱割合に対する強度低下は、溶脱割合約 4%までの範囲で、特に大きくなっている。これは、カルシウム溶脱は供試体表層部から進展することから、供試体全体としての平均的な溶脱割合が小さくても、曲げ強度に大きく影響する引張縁側の局所的な溶脱が大きくなっていたためと考えられる。

一方で、溶脱割合が 4%以上となると、溶脱割合の増加に対する強度低下が緩やかになっている。これは、内部ほど曲げ強度試験において作用する引張応力が小さくなるため、溶脱が内部に進展したことの強度低下への影響が相対的に小さくなったためと考えられる。

### (5) 溶脱による中性化の状況

DA シリーズにおける浸漬期間 180 日の中性化深さ測定の結果を表 7 に示す。なお 4.2(1)と同様、表の中性化深さの数値は 3 体の平均値を、写真は 3 体のうちの 1 体を示している。

純水、塩水浸漬におけるカルシウム溶脱による中性化の進行状況を比較すると、塩水浸漬の方が純水浸漬よりも中性化が進行しており、4.2(2)で示した溶脱カルシウム濃度の結果と同様の傾向を示した。また、いずれの測定においても、高さ方向と幅方向での中性化深さを比較すると、幅方向の方が高さ方向よりも中性化が進行している結果となった。ここで、幅方向の断面は、供試体作製時に平板から切断した断面であり、この方向では通水性が高いことが分かっている。よって、ここでの中性化深さの違いは、通水性の違いにより生じたものであると考えられる。また、これらの傾向は浸漬期間 30、90 日の供試体においても同様に見られた。

## 5. まとめ

本研究の範囲で得られた知見を以下にまとめる。

- (1) 供試体内の湿潤状態が不均一な場合、曲げ強度のばらつきは大きい。また、含水比が高いほど曲げ強度が低下する傾向が確認された。
- (2) ウッドチップの飽和カルシウム吸着量は砂の約 30 倍と大きな値を示した。
- (3) 塩水浸漬の方が純水浸漬と比較して、溶脱カルシウム濃度が大きく、溶脱は速く進行する。一方、供試体表層部が炭酸化することで、カルシウム溶脱は抑制される。
- (4) 気中養生後の供試体を水中で後養生することで曲げ強度が増加する。未水和セメントの反応によるものと考えられた。
- (5) 曲げ強度の低下は、浸漬溶液の違いによらず溶脱割合と一定の相関があり、溶脱初期に大きく低下し、その後、緩やかになる。
- (6) カルシウム溶脱による中性化深さの測定では、塩水

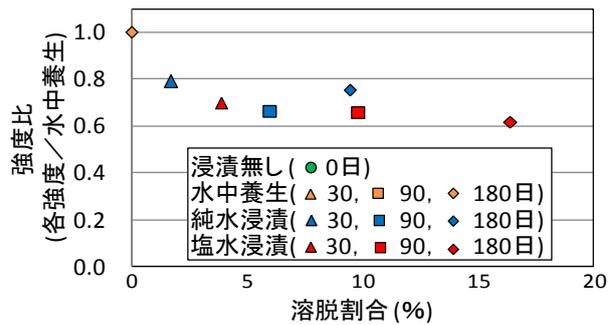
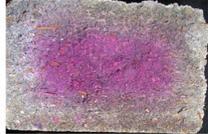
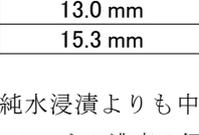


図-6 溶脱割合と強度比

表-7 DA シリーズ浸漬期間 180 日における中性化状況

浸漬条件		純水浸漬	塩水浸漬
写真	引張縁		
	圧縮縁		
中性化深さ	高さ方向	13.0 mm	14.0 mm
	幅方向	15.3 mm	18.0 mm

浸漬の方が純水浸漬よりも中性化深さが進展しており、溶脱カルシウム濃度の傾向と一致した。また、供試体の方向により、深さの進展状況に差が生じた。

## 謝辞

本研究を実施する上で、小林工業株式会社の新井彰氏には、貴重なご助言を頂きました。また、供試体の作製については、トキワコンクリート工業株式会社の皆様にご協力を頂きました。ここに記し深く感謝致します。

## 参考文献

- 1) 河野敬ほか：ウッドチップコンクリートの強度特性，土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集，30 巻，pp.43-44，2003
- 2) 原尚子ほか：ウッドチップを使った Cd 及び Pb の吸着材の開発，日本分析化学会年会講演要旨集，54 巻，p.325，2005
- 3) 大脇英司ほか：活性炭を用いた浄水施設のコンクリートの劣化，コンクリート工学年次論文集，Vol.18，No.1，pp.903-908，1996
- 4) 蔵重勲ほか：塩化物・炭酸水素イオン共存溶液中におけるセメント硬化体の溶脱挙動，コンクリート工学年次論文集，Vol.29，No.1，pp.909-914，2007
- 5) 北詰昌樹ほか：セメント処理土の暴露環境における強度変化，第 37 回地盤工学研究発表会，K-06，pp.819-820，2002
- 6) 小梁川雅ほか：含水変化を受けたコンクリート供試体の曲げ強度，土木学会論文集，No.354，V-2，pp.157-160，1985
- 7) 近藤精一ほか：吸着の科学，化学セミナー16，丸善，pp.99-100，1991