

IV-3 建設資材の環境安全性に関する研究

研究予算：運営費交付金（道路整備勘定）

研究期間：平12～平14

担当チーム：構造物マネジメント技術チーム

研究担当者：河野広隆、森濱和正、久田 真

【要旨】

近年、建設資材についての環境安全性の確保が求められている。本研究は、汚染物質として六価クロムに着目し、コンクリート構造物からの溶出の実態ならびにコンクリート工事におけるフレッシュコンクリートそのものからの溶出の実態と、ブリーディング水あるいは洗い水中における六価クロムの含有量の実態を把握した。

その結果、硬化コンクリートからの六価クロムの溶出濃度は、環境基準である0.05 mg/l以下であることが判明した。しかしながら、コンクリート打設時に生じるブリーディング水やアジテータ車の洗い水など、六価クロムが高濃度で検出される場合があることが判明した。

キーワード：建設資材、環境安全性、六価クロム、環境庁告示第46号法、溶出試験

1. はじめに

環境意識の高まりを背景として、公共事業についても環境への厳しい視線が注がれている。そのため、建設工事に用いる建設資材および今後利用が増加することが予想される様々なリサイクル材についても環境安全性の確保が求められている。しかし、コンクリートから溶出が懸念される重金属類の溶出の実態は十分に把握されていないのが現状であり、汚染物質に関する建設資材の環境安全性や実用的な評価技術が求められている状況にある。

このため、本研究は汚染物質として六価クロムに着目し、コンクリート構造物ならびにコンクリート工事における六価クロムの溶出の実態を把握し、これを適切に評価する手法の確立を目指したものである。

本研究では、まずコンクリート構造物からの溶出の実態を把握することを目的として、建設年数の異なる構造物からコアを採取し、コンクリートの圧縮強度、中性化深さおよび六価クロムの溶出量を測定し、構造物からの六価クロムの溶出の実態を把握した。

次に、コンクリート工事において溶出が懸念されるブリーディング水、アジテータ車の洗い水、水中コンクリート打設時の地下水における六価クロムの溶出の実態を調査した。さらに、これらの各状況を想定した模擬実験において溶出した六価クロム濃度を測定し、実際の工事現場との相違について検討を行った。

また、コンクリート再生骨材からの六価クロムの溶出に関する実験も行い、微量成分の溶出に関する環境

表-1 コアを採取した構造物の諸元

No.	種類	供用年数	環境	備考
A	壁	1年	室内	
B	橋脚	約30年	飛沫帯	
C	橋げた	約70年	飛沫帯	補修履歴あり
D	舗装版	25年	内陸部	
E	橋げた	約30年	飛沫帯	
F	橋げた	約30年	飛沫帯	
G	橋げた	約30年	飛沫帯	

安全性を実用的な側面から検証した。

2. 研究方法

2.1 構造物から採取したコンクリートからの六価クロムの溶出に関する調査

(1) 対象構造物の概略

実際のコンクリート構造物における六価クロムの溶出の実態を把握するため、供用年数の異なる7構造物から寸法φ100×250mm程度のコアを採取した。各構造物の諸元を表-1に示す。

なお、採取したコアについては別途、圧縮強度およびフェノールフタレイン噴霧法による中性化深さも測定した。これらの結果と六価クロムの溶出量との関係についても検討を行うため、溶出試験に用いる試料は構造物の表面から0～10mm部分、10～20mm部分および内部に3分割し、それぞれの試料について溶出試験を実施した。

表-2 環告第 46 号法の概略

試料	土塊、団粒を粗砕した後 2mm の目のふるいを通させて得た土壌
溶媒	純水 (HCl もしくは NaOH で pH を 5.8 ~6.3 に調整)
液固比	10 [ml/g]
溶出時間	6 時間
溶出操作	水平振とう (約 200 回/分)、振とう幅: 40~50mm 常温 (おおむね 20°C)、常圧 (おおむね 1 気圧)
検液の作製	約 3000rpm で 20 分間遠心分離した後、上澄み液を 0.45 μm のメンブランフィルターでろ過

[備考 1] 測定 (検定) 方法は、項目 (成分) により異なるが、JIS K 0102 (工場排水試験方法) によるものが多い。

[備考 2] 環境基準について：六価クロムの排水基準は、地域により異なり、0.5ppm、0.1ppm、0.05ppm などの地域がある。河川、地下水等の水質環境基準は 0.05ppm である。

(2) 溶出試験方法の概要

わが国では、コンクリートからの六価クロムなどの汚染物質の溶出に関する試験方法はまだ策定されていない。このため、本研究では、汚染物質の溶出試験法として、土壌の溶出試験法である環境庁告示第 46 号法 (以下、環告第 46 号法と記す) を適用した。表-2 に試験方法の概略を示す。

(3) 分析方法

本研究では、フレーム原子吸光法 (JIS K 0102 の 65.2.2) により全クロムと六価クロムについて分析を実施した。全クロムについては、試料溶液をメンブランフィルターでろ過後、フレーム中に噴霧し、Cr の波長を測定した結果を全クロム濃度とした。六価クロムについては、三価クロムを沈殿ろ過させた後、フレーム中に噴霧し、Cr の波長を測定した結果を六価クロム濃度とした。

2. 2 コンクリート工事の各段階における液中の六価クロム含有量に関する実態調査

実際の工事現場において、汚染物質が溶出する懸念のある状況として、a) コンクリートのブリーディング、b) アジテータ車等の洗浄、c) 水中コンクリート打設および d) 型枠からのしみ出しを考え、各段階において溶液を採取し、液中に含まれる六価クロム濃度の実態を調査した。各工事現場におけるコンクリート配合と打設部位の一覧を表-3 に示す。

表-3 各工事現場におけるコンクリート配合と打設部位の一覧

現場	コンクリート配合	打設部位
1	33-15-40-高炉 B	ケーソン杭頭
2	30- 8-25-普通	ブリーディング
3	24- 8-20-早強	現場打ちケーソン
4	24- 8-20-高炉 B	橋台

(1) 試料の採取

a) ブリーディング水

工事現場におけるブリーディング水の採取は、ケーソン (表-3 中の現場 3) および橋台 (同、現場 4) の各工事現場で行った。なお、いずれの現場においても、コンクリートに発生するブリーディング水はごくわずかであり、その採取が困難であったため、試料の採取にあたってはコンクリートのブリーディング試験 (JIS A 1123) に準拠した方法で、ブリーディング水を採取した。すなわち、フレッシュコンクリートを試験容器に移し、突き棒により突き固めたあと、表面を平らに均し、表面に溜まった水を 30 分おきに吸い取った。

b) アジテータ車の洗浄水

表-3 中の全ての工事現場において、コンクリート打設後、アジテータ車の洗浄水を採取した。

c) 水中コンクリート打設時の地下水

表-3 の現場 1 に示した現場打ちケーソンにおいて、ケーソン下部を土で埋め戻し、上部を水中コンクリートで充填する工事現場にて試料を採取した。なお、工事現場は川に近いので、地下水面が非常に高く、ケーソン内部には地下水が溜まっている状態であったため、コンクリート打設前、全コンクリートの 1/3 打設後、同じく 2/3 程度打設後および全コンクリート打設後において地下水を採取した。なお、水面はコンクリートを打設した分だけ上昇するが、アジテータ車 2 台分の打設を行った後、取水チューブを水に入れて、ポンプ排水を行い、1/3、2/3 および全コンクリート打設後の地下水は、ポンプからの排水を採取した。コンクリート打設前の地下水は、バケツでくみ出して採取した。

d) 型枠下端からしみ出した水

現場打ちケーソンのコンクリート打設中に、型枠下端からしみ出した水を採取した。

(2) 分析方法

実際の工事現場から採取した上述の各試料に含まれ

表-4 プリーディング水に含まれる六価クロムの
模擬実験に関する組合せ

セメント		普通ポルトランドセメント				高炉
Gmax (mm)		20				
W/C		0.40	0.45	0.55	0.70	0.55
打設後、プ リーディ ング水を取 取するま での時 間(分)	30	○	○	○	○	
	60	○	○	○	○	○
	90	○	○	○	○	
	120	○	○	○	○	○
	180	○	○	○	○	
	270	○	○	○	○	○

【備考】○が実施した組合せ、スランブ：8 cm

る全クロムならびに六価クロム濃度は、2. 1 (3)と同様の方法で分析を行った。

2. 3 コンクリート工事の各段階を想定した六価クロムの溶出に関する模擬実験

(1) プリーディング水

コンクリート打設後に生じるプリーディング水に含まれるクロム濃度を確認するため、室内模擬実験により、プリーディング水のクロム濃度を測定した。

水セメント比、セメントの種類(普通、高炉B種)を表-4のように組み合わせ、コンクリートを練り混ぜた後プリーディング試験を行い、所定の時間経過後に採取したプリーディング水中の全クロム濃度および六価クロム濃度を分析した。分析方法は2. 1 (3)と同様である。

(2) 洗い水

コンクリート打設現場あるいはコンクリート製造工場において発生するアジテータ車の洗浄水や、施工途中で使用した器具の洗い水などを想定し、これらの液中に含まれる六価クロム濃度を把握する目的で、室内における模擬試験を実施した。

コンクリート工事におけるクロム成分はセメントに由来するものであるため、洗い水中に含まれるクロム濃度の測定は、セメントペーストを実験室にて作製したものをを用いた。セメントペーストは、水セメント比を0.45、0.55および0.70とし、セメントの種類は普通ポルトランドセメント、高炉B種セメントの2種類を準備した。ペースト練上がり直後から4時間後まで1時間おきに、セメントペーストを10g採取し、100mlの水に溶かして、5分間スターラーにてかく押しながら溶出させた。これらの溶液をメンブランフィルターでろ過した後、全クロムならびに六価クロム濃度を2.

1 (3)と同様の方法で分析を行った。

なお、ここで示したセメントペーストと水との比は、アジテータ車に付着した全モルタルを200%の水で洗浄した場合と、オーダーが一致する。

(3) 水中コンクリート打設時の地下水

水中コンクリートを打設すると、打設地点周囲の水中に六価クロムが溶出する可能性がある。水中コンクリートを打設する場合には、坑内の壁面を安定させるためにベントナイト泥水を使用する場合があるが、ベントナイトは高いイオン交換能力を持つことから、ベントナイトがセメントから溶出したクロムイオンを吸着すると推測される。したがって本模擬実験では、溶媒としてベントナイト溶液を準備し、この溶液中にセメントを投入して溶液中のクロム濃度の測定を行った。

ベントナイト5%溶液100mlに対して、1、3、5、10および20gの普通ポルトランドセメントを投入し、スターラーにより5分間攪拌して微量成分を溶出させた。これらの溶液をメンブランフィルターでろ過した後、全クロムならびに六価クロム濃度を2. 1 (3)と同様の方法で測定した。

(4) コンクリート解体材

コンクリート解体材を再生骨材や路盤材として利用するリサイクルが行われている。これらのコンクリート材から溶出するクロムの実態を把握する目的で、以下に示す方法で模擬実験を行った。

普通ポルトランドセメントを用いて水セメント比45、55および70%の3種類のコンクリートを製造し、十分に水中養生した後、30~40mm程度の粒状になるように破碎した。これをさらに2mm以下になるまで粉砕したものを試料として環告第46号法に準拠して六価クロム溶出量を測定した。なお、比較用として30~40mm程度の粒状のまま約1ヶ月間室内にて気中暴露した解体材を用意し、これを中性化させたものを試料として環告第46号法を実施し、全クロムならびに六価クロム濃度を2. 1 (3)と同様の方法で測定した。これらの結果により、コンクリートの中性化が試料から溶出する全クロム濃度ならびに六価クロム濃度に及ぼす影響について検討を行った。

3. 研究結果

3. 1 構造物から採取したコンクリートからの六価クロムの溶出

表-5に、対象とした7構造物から採取したコアの圧

表-5 構造物から採取したコアの調査結果

構造物	建設年数 年	圧縮強度 N/mm ²	表面から 0-10mm		表面から 10-20mm		内部(表面から20mm以深)		備考
			中性化 mm	六価クロム mg/l	中性化 mm	六価クロム mg/l	中性化 mm	六価クロム mg/l	
A	1	33.9	1.6	0.036	—	—	0	0.022	
B	約 30	24.1	9.6	0.032	0	0.027	0	0.027	
C	約 70	20.9	5.5	0.172	0	0.053	0	0.032	補修あり
D	25	51.3	0	0.020	—	—	0	0.022	
E	約 30	65.0	0	0.027	0	0.013	—	—	
F		—	0	0.039	—	—	0	0.032	
G		—	0	0.029	—	—	0	0.019	

【備考】表中の「—」は実施しなかった項目。

縮強度、中性化深さおよび六価クロムの溶出濃度の測定結果を示す。全体の傾向として、いずれの構造物においても、表面から0~10mmの範囲における六価クロムの溶出濃度が、表面から10~20mmの範囲および内部(表面から20mm以深)における溶出濃度よりも大きくなっており、中性化の影響を受けやすい表層部分のコンクリートの方が六価クロムが溶出しやすい傾向を示すと考えられる。また、単位セメント量の多い高強度コンクリートを用いた構造物Eにおける六価クロム濃度は、普通コンクリートと比べてほぼ同じ結果であり、六価クロムの溶出量とコンクリートの圧縮強度(あるいは単位セメント量)との関連性は明確ではない。

補修履歴のある構造物Cからの六価クロムの溶出濃度は、他の構造物に比べて著しく大きくなっているが、これについては、コンクリートからではなく、使用された補修材料からの六価クロムの溶出の可能性があるので、今後さらに調査が必要であると思われる。

表-2の備考に示したように、河川や地下水に対する環境基準は0.05mg/lであるが、今回の測定結果では、いずれの構造物からも六価クロムの溶出濃度は環境基準値以下であった。

3.2 コンクリート工事の各段階における液中の六価クロム含有量

(1) ブリーディング水

図-1に、工事現場3および4(表-3参照)におけるブリーディング試験によって得られた全クロムならびに六価クロム濃度の経時変化(試料を採取してからの時間)を示す。いずれの採取時においてもブリーディング水中の六価クロム濃度は環境基準値である0.05mg/l(0.05ppm)より著しく高い数値を示した。早強セ

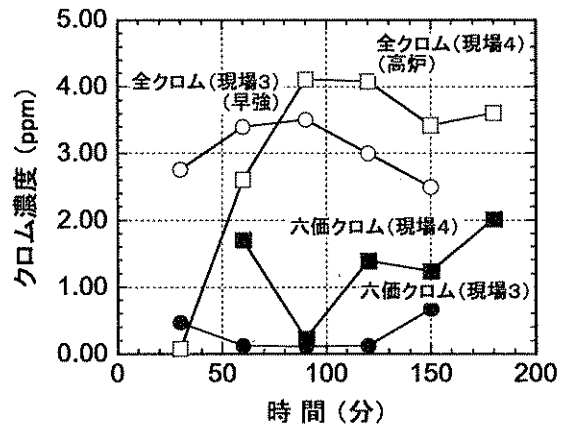


図-1 ブリーディング水中のクロム濃度の経時変化

メントを使用した打設現場3では、打設後30分経過後よりすでに全クロムが高い濃度を示しているのに対し、高炉セメントを使用したコンクリート打設現場4においては、全クロム濃度は打設後90分まで経時的に増加する傾向を示した。六価クロム濃度の変化については、全クロム濃度との関連性は明確ではなく、時間の経過に連動した濃度変化も示していない。なお、2.2(1)a)で述べたとおり、実際のコンクリート打設現場では、ブリーディング水の採取が困難であった。このことから、実際のブリーディング水はそのままコンクリート中に吸収され、人体に接触する機会は少ないと予想される。

(2) 洗い水

図-2に、表-3に示した全ての打設現場から採取したアジテータ車の洗い水中に含まれるクロム濃度の分析結果を示す。これによれば、普通セメントを使用したコンクリートを洗浄した液中において全クロム濃度、六価クロム濃度とも最も高い傾向を示した。早強セメントを使用したコンクリートを洗浄した液中のクロム

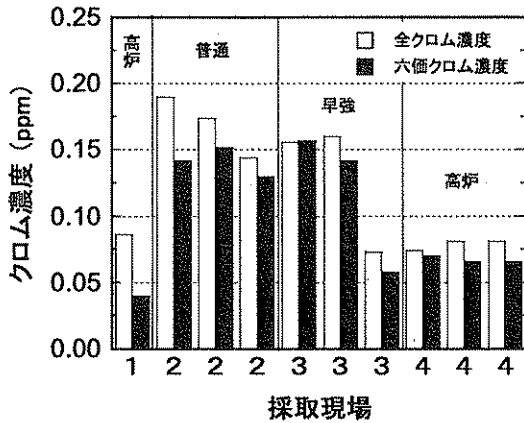


図-2 洗い水中のクロム濃度の分析結果

濃度は、普通セメントと比較してほぼ同等か若干低い値を示し、高炉セメントを使用したコンクリートを洗浄した液中のクロム濃度が最も低い結果となった。

図-3の結果と比較すると、アジテータ車の洗浄水中におけるクロム濃度は、ブリーディング水中のクロム濃度よりも総じて低い値となっているが、ほぼ全ての分析において環境基準値である 0.05mg/l (0.05ppm) より高い数値を示した。

(3) 水中コンクリート打設時の地下水ならびに型枠下端からしみ出した水

表-6に、水中コンクリート打設時の地下水ならびに型枠下端からしみ出した水中におけるクロム濃度の分析結果を示す。水中コンクリート打設時の地下水からは、打設量のいずれの段階においてもクロム成分は全く検出されなかったが、型枠下端からしみ出した水中からはブリーディング水と同レベルの高濃度の全クロム濃度および六価クロム濃度が測定された。

3.3 コンクリート工事の各段階を想定した模擬実験結果

(1) ブリーディング水

図-3に、ブリーディング水を想定した模擬実験の結果を示す。測定結果にばらつきがあるものの、全クロム濃度の分析結果から、練混ぜ後の経過時間に伴って濃度が大きくなっていること、水セメント比が低い方が溶出する濃度が大きくなることが認められる。また、六価クロムの分析結果は、全クロムよりもさらに測定値にばらつきが大きい傾向となっているが、全クロムとほぼ同様の傾向を示していると考えられる。

なお、高炉セメントを使用したコンクリートでは、全クロム、六価クロムとも普通セメントを使用したコ

表-6 水中コンクリート打設時の地下水ならびに型枠下端からしみ出した水中のクロム濃度

種類		全クロム濃度 (ppm)	六価クロム濃度 (ppm)
水中コンクリート打設時の地下水	打設前	0.000	0.000
	1/3 打設後	0.000	0.000
	2/3 打設後	0.000	0.000
	全量打設後	0.000	0.000
型枠下端のしみ出し水		3.250	0.108

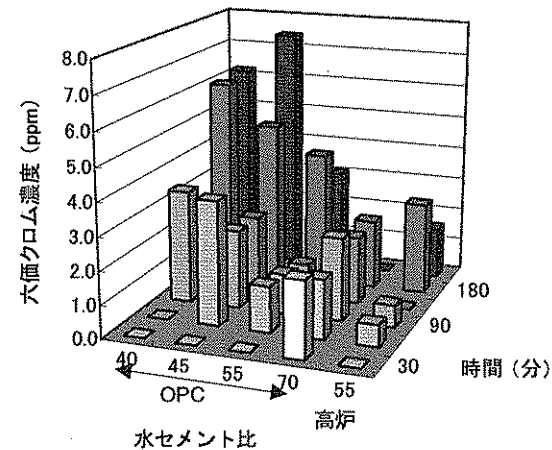
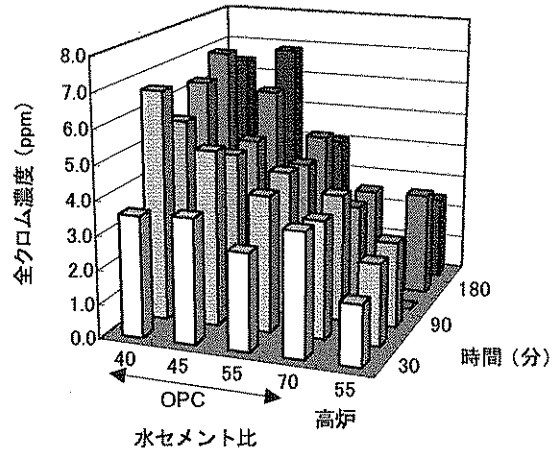


図-3 ブリーディング水を想定した模擬実験結果

ンクリートよりも濃度が低い結果となった。

(2) 洗い水

図-4に洗い水を想定した模擬実験の結果を示す。これによれば、洗い水中の全クロム濃度は、ペースト練混ぜ後の経過時間によらず一定であり、水セメント比が小さい方が濃度が大きいこと、洗い水においても高炉セメントを使用したコンクリートからのクロムの溶出は少ない結果となった。

(3) 水中コンクリート打設時の地下水

図-5に、水中コンクリート打設時の地下水を想定した模擬実験の結果を示す。普通セメント投入量と単位

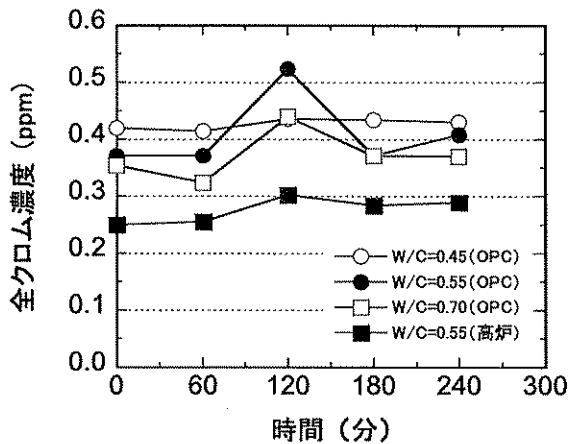


図-4 洗いを想定した模擬実験結果

質量セメントあたりの溶出した全クロム濃度との間には反比例の関係が認められ、セメントを多量に投入すればするほど、クロムが溶出する割合は低くなることが予想される。また、ベントナイト 5%溶液に溶出させた場合の単位質量セメントあたりの全クロム濃度は、水に溶出させた場合よりも若干低い値を示した。しかし、この差はそれほど大きくはなく、ベントナイトのクロム吸着作用はほとんど認められなかった。

(4) コンクリート解体材

図-6に、コンクリート解体材を想定した模擬実験の結果を示す。全クロム濃度の結果から、中性化していないコンクリート解体材よりも中性化したコンクリート解体材の方が全クロムが溶出する傾向を示した。また、中性化したコンクリート解体材からは環境基準である 0.05ppm にほぼ匹敵する六価クロムの溶出が認められた。なお、今回の実験結果は、コンクリート解体材をさらに微粉碎し、比表面積を大きくした環告第 46 号法による結果であり、塊上の解体材からのクロム成分の溶出についてはごく微量であると思われる。

4. まとめ

本研究では、コンクリート構造物からの六価クロムの溶出についての実態調査とともに、コンクリート工事の各段階を想定した模擬実験を実施し、汚染物質としての六価クロムの溶出に関する環境安全性を実用的な側面から検証した。その結果、以下のことが明らかとなった。

1) コンクリート構造物からの六価クロムの溶出は極めて微量であり、環告第 46 号法に基づく試験結果でも環境基準である 0.05ppm 超えることはないと考えられる。

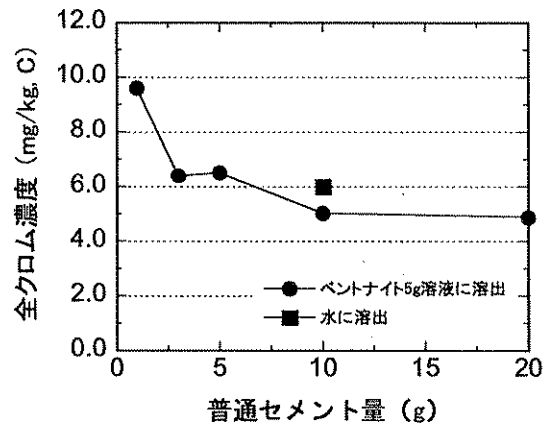


図-5 水中コンクリート打設時の地下水を想定した模擬実験結果

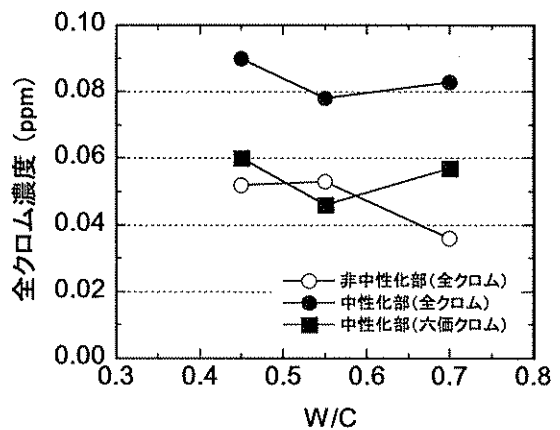


図-6 コンクリート解体材からのクロムの溶出を想定した模擬実験結果

- 2) 現場採取調査ならびに模擬実験結果から、コンクリート打設時のブリーディング水やアジテータ車の洗い水からは比較的濃度の高い六価クロムが検出される可能性があることが判明した。
- 3) 2) の結果から、現場内作業員にあっては、高濃度のクロム成分を含有する液体に接触する可能性を回避するため、手袋の着用等によって接触を防止するなどの対策が必要であると考えられる。

実際の構造物からの微量成分の溶出状況を想定した試験方法の確立の必要性から、土木学会コンクリート委員会微量成分溶出に関する調査研究小委員会が発足し、タンクリーチング試験を提案することとなった。本研究での各結果は、土木学会におけるタンクリーチング試験を策定する上での基礎情報として寄与した。