

V-31 X線造影撮影によるコンクリートの微細ひびわれ検出技術の開発

東北学院大学工学部 ○学生員 阿部雅徳
東北学院大学工学部 正会員 大塚浩司
ショーボンド建設（株） 正会員 佐野 正

1. まえがき

X線造影撮影は主に医学の分野で用いられてきたもので、造影剤も医療用のものだけが市販されており、人体への副作用を抑えるため濃度を低くし、特殊な成分が含まれている。そのため市販造影剤のX線吸収率には限界があった。

本研究は、X線吸収率が高く、安全で、実用的な工業用X線造影剤を開発し、コンクリート構造物の表面に発生しているひびわれ、あるいはコンクリート中に設けた人工の血管を通じて内部に圧入し、X線透過撮影を行いコンクリート内部に発生している微細なひびわれや欠陥を検出するという新しい非破壊検査手法を開発することを目的としたものである。

2. 市販および試作造影剤の一般性能比較実験

(1) 実験方法

(a) 画像消滅電圧比較実験

市販造影剤（表1）、試作造影剤（表2）各7種類の造影剤をプラスチック管（外径5mm、内径3mm）に入れボードに固定した後、図1に示す装置を用いX線を照射した。X線を照射すると造影剤がX線を吸収するため黒いすじとしてTVモニターに現われる。X線電圧を上げていくに連れ、すじがTVモニターから徐々に消えていく。すじがTVモニターから消滅したときのX線電圧を測定し画像消滅電圧とした。

(b) 動粘度試験

動粘度が低い液体は流動的であり微細な部分へ入っていくことができると考えられる。ここでは市販造影剤の流動性を測定するために動粘度試験を行った。粘度計はオストワルド粘度計の改良型であるキャノンフエンスケ粘度計を使用した。

(c) 質量吸収係数

質量吸収係数を求めることにより造影剤がX線エネルギーをどれだけ吸収したか知ることができる。質料吸収係数と画像消滅電圧を用いることによりX線吸収率を正確にとらえることができると考えられる。

$$\ln \frac{I_0}{I} = \rho d (\mu_1 \omega_1 + \mu_2 \omega_2 + \dots + \mu_n \omega_n + \dots)$$

ω : 成分1, 2, ..., n...の重量比率

ρ : 混合物全体の平均比重

μ : 各元素の質料吸収係数 (cm/g)

d : 溶液の厚さ (cm)

I_0 : 物質通過前のX線の強さ

I : 物質通過後のX線の強さ

(2) 実験結果

実験結果は表3、表4に示すとおりである。

表3の結果より、市販造影剤の中からヨード

系造影剤C、バリウム系造影剤Dが造影性能に優れていると考えられたが、バリウム系造影剤Dは分離

表 1 市販造影剤の種類

造影剤名	総塩濃度 w/v%
ヨード系造影剤 A	60.0
ヨード系造影剤 B	30.0
ヨード系造影剤 C	82.3
バリウム系造影剤 D	140.0
バリウム系造影剤 E	75.0
バリウム系造影剤 F	100.0
バリウム系造影剤 G	120.0

*バリウム系造影剤Dは粉末300gを135ccの水に溶かしたもの。

表 2 試作造影剤の種類

試作造影剤名	分子量
試作造影剤 H	325.8
試作造影剤 I	168.4
試作造影剤 J	259.8
試作造影剤 K	212.8
試作造影剤 L	361.9
試作造影剤 M	373.5
試作造影剤 N	267.9

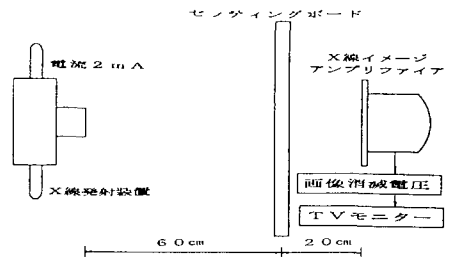


図1 X線照射条件

表 3 市販造影剤の性能比較実験結果

造影剤名	総塩濃度 w/v%	画像消滅電圧 kv	動粘度 cm ² /s
ヨード系造影剤 A	60.0	38.5	5.4
ヨード系造影剤 B	30.0	37.0	2.1
ヨード系造影剤 C	82.3	42.0	12.8
バリウム系造影剤 D	140.0	43.0	10.5
バリウム系造影剤 E	75.0	41.0	72.7
バリウム系造影剤 F	100.0	42.0	69.2
バリウム系造影剤 G	120.0	43.0	19.5

しやすく、コンクリート中へ注入するとコンクリートに水分を吸い取られ流動性をなくしてしまった。そのため市販造影剤の中からヨード系造影剤Cが造影性能が高いと考えられた。また、表4の結果より、試作造影剤の中ではH、Nが画像消滅電圧が高く造影剤として有効と考えられた。しかし、試作造影剤Nは危険物に指定されている有機物を含むため安全性を考えると造影剤として不適当である。故に試作造影剤の中から試作造影剤Hが造影性能に優れていると考えられた。

表 4 試作造影剤性能比較実験結果

試作造影剤名	分子量	濃度 %	比重	画像消滅電圧 kv	log ₁₀ I/I	PH
試作造影剤 H	325.8	70.0	2.1	47.5	47.7	13.5
試作造影剤 I	168.4	65.0	1.9	46.5	47.2	8.3
試作造影剤 J	259.8	42.5	1.5	45.5	24.7	7.7
試作造影剤 K	212.8	50.0	1.6	45.0	23.5	7.5
試作造影剤 L	361.9	61.5	1.9	46.0	35.8	4.6
試作造影剤 M	373.5	61.5	1.5	40.0	20.3	2.9
試作造影剤 N	267.9	3.2	4.9	49.0	106.3	5.4

但 log₁₀I/I…X線長さ1.436Aでの質量吸収係数。
 PH, 比重は実験温度、20℃でのもの。

3. コンクリート中のひびわれ造影性能比較実験

(1) 実験材料および実験方法

造影性能比較実験の結果より、市販造影剤の中からヨード系造影剤C、試作造影剤の中からHを選定し、それをコンクリート内部に注入して、コンクリート中のひびわれ造影性能を比較した。

セメントは早強ポルトランドセメント、細、粗骨材共に河川産のもの、鉄筋はSD-35、鉄筋径D16を使用した。配合は水セメント比50%、細骨材率47%、最大粗骨材寸法15mmとした。

供試体は図2に示す形状寸法の両引供試体を使用した。供試体を万能試験機により引張り表面にひびわれを発生させた。表面のひびわれに取付パイプ(図3)を接着し、表面のひびわれもシールした。硬化するまで約2時間室温養生した後、造影剤をインジェクター

(図3)を用いひびわれに注入した。その後、図4のひびわれ検出システムによりコンクリート内部のひびわれ造影性能を比較した。

(2) 実験結果

X線フィルム直接撮影で得られた写真をトレースした例をトレース1、トレース2に示す。トレース1は市販造影剤Cを、トレース2は試作造影剤Hをコンクリート中へ注入したもので、市販造影剤Cを用いた場合鉄筋上側に発生したひびわれを検出することができなかったが、試作造影剤Hを用いることにより鉄筋上側のひびわれを検出することができた。また、現像したフィルムを印画紙に焼付けた写真でははっきりしないが、現像したフィルムを医学用シャーカーステンで拡大して観察すると、試作造影剤Hを注入した供試体は、造影剤が微細なひびわれにまで行き渡っていることがわかった。

4. まとめ

実験の範囲内で、試作造影剤の中では試作造影剤Hが最も造影性、およびひびわれ浸透性に優れ、工業用造影剤として使用可能であると考えられる。

5. あとがき

本研究は、平成2年度東北学院大学工学部土木工学科、大塚卒業研修として、発表者のほか木下昌樹が行ったものである。

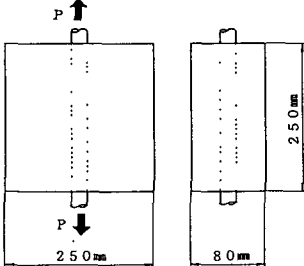


図2 供試体寸法

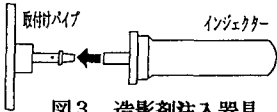


図3 造影剤注入器具

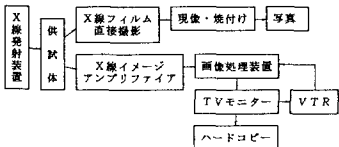
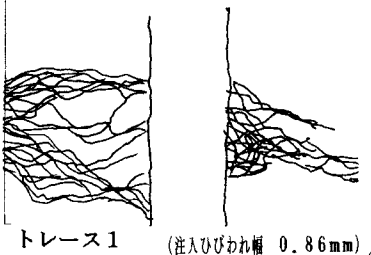
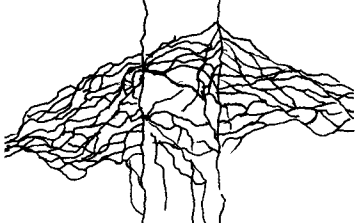


図4 ひびわれ検出システム



トレース1 (注入ひびわれ幅 0.86mm)



トレース2 (注入ひびわれ幅 0.90mm)