

論文

[1050] コンクリート表面各種塗布材のひびわれ追従挙動に関する研究

正会員 伊藤 洋 (熊谷組 原子力開発室)
 西山 勝栄 (熊谷組 原子力開発室)
 清水 昭男 (熊谷組 原子力開発室)
 正会員 ○石田 良平 (熊谷組 技術研究所)

1. はじめに

コンクリート構造物に発生するひびわれは、構造物の耐久性・水密性等の低下をもたらす。特に近年になって原子力発電所施設、放射性廃棄物処分ピット、海洋構造物などの高耐久性水密構造物が要求されるようになり、ますますひびわれ制御技術の確立が望まれている。しかし、コンクリート構造物に多種多様の要因で発生するひびわれを、多くの制約条件の中で完全に制御することは、現実の問題として不可能に近い。このため、こうした制御し得ないひびわれに対しては何らかの対策を講じる必要性が生じることになる。

このような背景にあって、近年伸び率の大きい各種塗布材をコンクリート表面に塗布することにより、施工後にひびわれが生じてもこれをカバーし、構造物自体の耐久性、水密性を維持させる方法が用いられ成果をあげている。このような塗布材の水密性に対する評価を行うに当たっては、材料自体の水密性や伸び率よりも、下地の挙動に対する追従性、下地への接着性、耐久性などの性能が要求されることになるが、中でも重要と思われる追従性に関する既往の研究は少なく、特にその定量的評価はあまりなされていないのが現状である。そこで、本論では現在一般に使用されている塗布材を塗布したコンクリート供試体を用い、人為的にひびわれを発生させることにより、各種塗布材のひびわれ追従挙動に関して実験・検討を行った。その結果、塗布材のひびわれ追従性に関する定量評価に対し、有用な知見を得られたのでここに報告する。

2. 実験概要

1) 実験方法

本研究で用いた実験装置を図-1(i)、実験供試体形状を図-1(ii)に示す。10×10×40cmの供試体内部には、中央部の幅3mmを直径15mmに整形したD29鉄筋と断面欠損用黄銅板が設置されており、試験時には中央部分でひびわれの発生を誘発するようになっている。塗布材の施工は、コンクリート(配合は表-1参照)を打設し、1カ月間水中養生した後、表面を自然乾燥させ、図-1(iii)に示すように、側面のうち2面(㊶㊷面)にメーカーの仕様に従って行った。塗布材の選定に当たっては、一般的に幅広く用いられているエポキシ系、ポリブタジエン系、ゴムアスファルト系、ポリマーセメントモルタル系、セメント系、含浸系の材料からあわせて10種類を選んだ。塗布材の種類、塗膜厚及び特性を表-2に示す。供試体は各塗布材につき2体ずつ、あわせて20体とした。塗布後は、乾燥収縮によるひびわれを防ぐため、温度20℃、湿度90%の雰囲気中で約3週間の養生を行った後、

表-1 コンクリートの配合

実験に供した。供試体を実験装置にセットした状況を写真-1に示す。実験は、アムスラーにて供試体両側

粗骨材の最大寸法 (mm)	スランブ (cm)	空気量 (%)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)				
					水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和材
20	12	5	55	45	177	322	784	976	0.81

の鉄筋を引張り、黄銅板挿入位置にひびわれを発生させる方法で行った。載荷速度は約1tf/minとし、載荷はひびわれが塗布材面全体に発生するか、もしくはコンクリート面のひびわれ幅が1mm以上になるまで行った。なお、試験時におけるコンクリートの圧縮強度は386kgf/cm²、引張強度(割裂試験)は32kgf/cm²であった。

2) 測定項目

測定項目は、引張荷重、供試体表面に取付けた歪ゲージ(ワイヤーストレインゲージ)、 π ゲージの値及び目視観察によるひびわれ幅である。歪ゲージ、 π ゲージの取付け位置を図-1(iii)に示す。各面に長さ60mmの歪ゲージ、および標点距離100mmの π ゲージを取付けることにより、塗布材面およびコンクリート面の歪、変位量を測定した。測定は0.1tピッチとし、デジタル歪測定器を通じてフロッピーディスクに一旦記録した後、パソコンを用いてデータ処理を行った。この方法により、ひびわれ位置におけるコンクリートと塗布材の挙動を集中的に測定した。

3. 実験結果と考察

1) 実験結果

塗布材の塗膜厚や伸び率は、ひびわれ追従性能を左

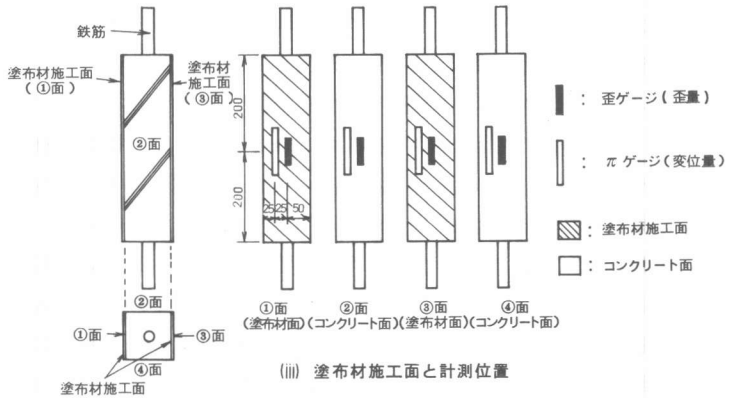
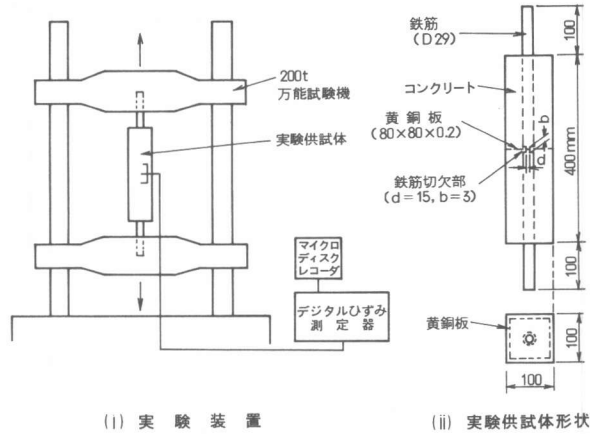


図-1 実験装置および供試体

表-2 塗布材の種類と性質

塗布材 No.	塗布材種類	塗膜厚 (mm)	伸び率 (%)	引張強度 (kgf/cm ²)	コンクリートとの接着強度 (kgf/cm ²)	施工仕様
I	エポキシ系(硬質1)	0.61	3.9	409	38.1	下地処理+プライマ+主材塗(2層)
II	エポキシ系(硬質2)	0.48	2.5	—	38.7	下地処理+プライマ+主材塗(3層)+トップコート
III	エポキシ系(軟質)	0.68	110	77.0	22.0	プライマ+下地しごき+主材塗(2層)
IV	ポリブタジエン系	1.06	220	54.4	13.2	下地処理+プライマ+主材塗(2層)+トップコート
V	ゴムアスファルト系	4.00	1,000以上	4.2	1.6	下地処理+1次吹付+2次吹付
VI	ポリマーセメントモルタル(エチレン酢酸ビニル系)	1.30	104	28.4	24.3	下地処理+プライマ+主材塗
VII	ポリマーセメントモルタル(アクリル系)	2.15	224	7.2	4.9	下地処理+プライマ+主材塗(2層)+トップコート
VIII	ポリマーセメントモルタル+エポキシ(トップコート)	0.77	—	—	20.1	下地処理+プライマ+主材塗+トップコート
IX	セメント系	0.55	—	16.0	27.9	水養生+主材塗(2層)
X	含浸系(シラン系)	—	—	—	30.7	主材塗(2回)(含浸深さ約2mm)

*) JIS K 6911に基づいた試験結果

*) 建研式の引張試験結果

右する大きな要因と思われるが、今回使用した塗布材の塗膜厚は0.48~4.0mm（塗布材Xを除く）で、伸び率は2.5~1000%以上（ⅤⅡ, Ⅸ, Xを除く）と範囲もかなり広いため、塗布材の追従性にも大きな差が生じた。図-2は、荷重Pとコンクリート、塗布材の変位量 δ 及びひびわれ幅 w との関係を代表的なものについて示したものである。図中の実線・破線は、それぞれ塗布材面・コンクリート面の変位で、 π ゲージより測定された値である。一方、プロットされている点は、黒塗り・白抜きがそれぞれ塗布材面・コンクリート面に発生したひびわれ幅の目視による測定結果である。まず、コン

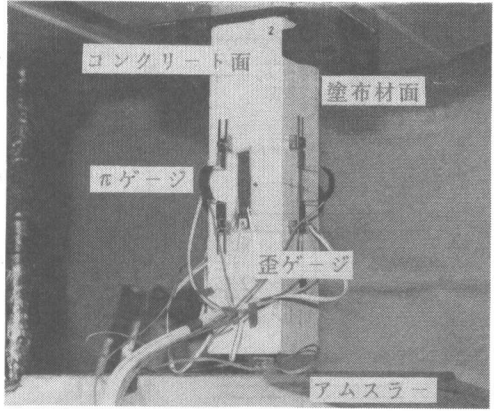
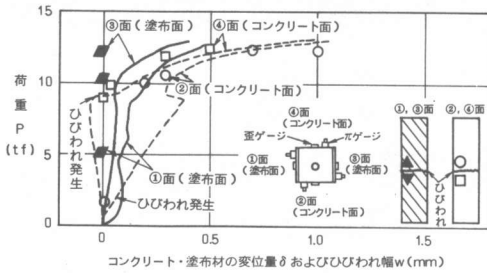
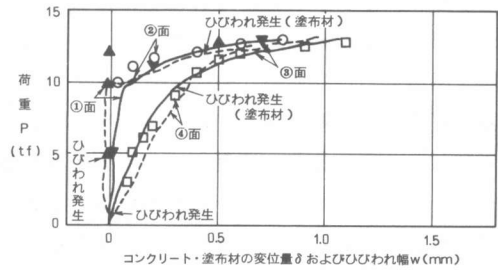


写真-1 供試体セット状況

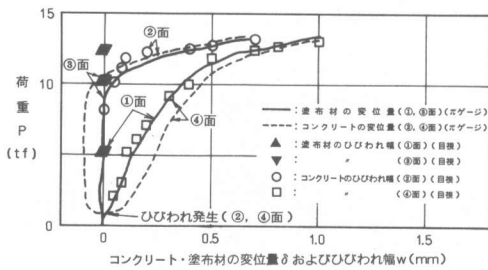
クリート面に着目するといずれも荷重約1tで一部分にひびわれが発生し、その後荷重が増加するにつれひびわれが進行するようになる。8~10tになると全断面を貫通し、12t付近ではひびわれ幅は0.6~1.0mmまで増大する。一方、塗布材面においては下地コンクリートの挙動に対し、各塗布材が異なる追従性を示している。同図(i)塗布材Ⅴ-1、(ii)Ⅳ-2では、ひびわれ幅が1mm以上になっても塗布材面にはひびわれは発生せず、ひびわれ追従性に非常に優れていることが認められる。(iii)塗布材Ⅲ-2では、0.2mm程度のひびわれには追従できるが、ひびわれ幅がそれ以上になると塗布材面にもひびわれが生じている。また(iv)塗布材Ⅱ-2では、下地コンクリートのひびわれにはまったく追従せず、コンクリートにひびわれが発生するのとほぼ同時に塗布材面にもひびわれが発生している。これら各塗布材の挙動をもとにひびわれ追従性パターンを整理すると、図-3に示すように大きく3つに分類することができる。まず、(a)Type-Aは写真-



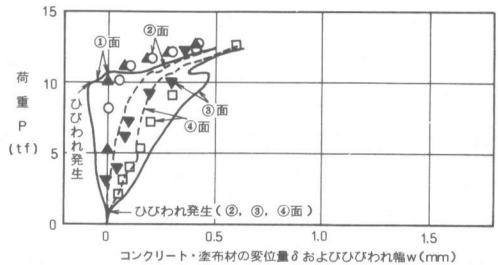
(i) 塗布材Ⅴ-1



(iii) 塗布材Ⅲ-2



(ii) 塗布材Ⅳ-2



(iv) 塗布材Ⅱ-2

図-2 荷重とコンクリート・塗布材の変位量およびひびわれ幅の関係

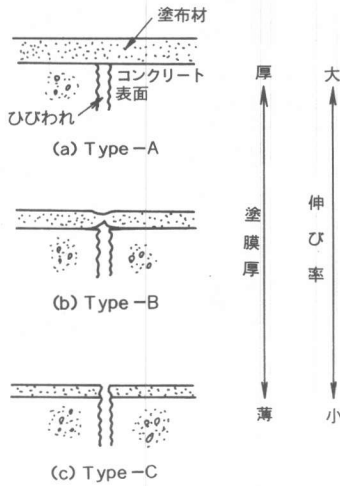


図-3 塗布材のひびわれ追従性パターン

2,3に示すようにコンクリートに1mm程度のひびわれが発生しても、塗膜厚の中で歪が吸収されるため、塗布材表面にはその影響がほとんど現れないタイプで、塗膜厚が比較的厚く、伸び率も大きい、コンクリートとの接着強度は劣るといった傾向をもつ。今回の実験では、塗布材Ⅳ、Ⅴ、Ⅶがこのタイプに相当する。(b) Type-Bは、0.1~0.2mm程度のひびわれには追従できるが、ひびわれ幅がそれ以上になるとひびわれ部の塗布材断面の上下が多少へこんだ後、塗布材面にもひびわれが発生するか、あるいは極端に塗布材が薄くなり正常な機能をはたさなくなるタイプである。写真-4に示す塗布材Ⅲやポリマーセメントモルタル系のⅥがこのタイプに属する。(c) Type-Cは、写真-5にも示すように下地コンクリートのひびわれにはほとんど追従しない塗布材で、伸び率が小さく、コンクリートとの接着強度は大きいエポキシ系(硬質)のⅠ、Ⅱ、エポキシのトップコートが主体成分のⅧ、セメント系のⅨがこのタイプに相当する。また含浸系のⅩもコンクリート面と同様の挙動を示すということでこのタイプに属するものとする。このType-Cの塗布材には、ひびわれ追従性はほとんど期待できないものと判断される。

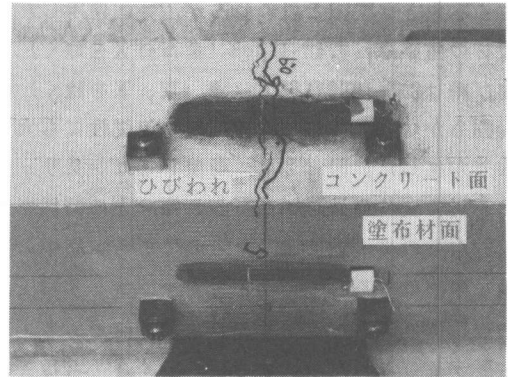


写真-2 実験終了後の塗布材Ⅳの状況 (ポリブタジエン系)

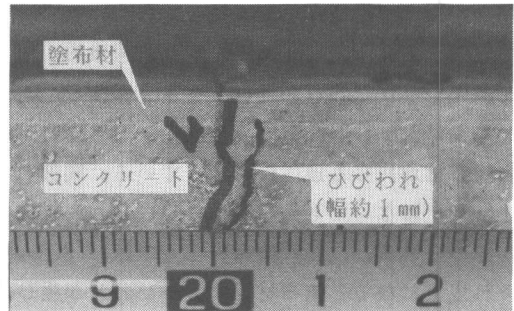


写真-3 塗布材Ⅳ (ポリブタジエン系) Type-A

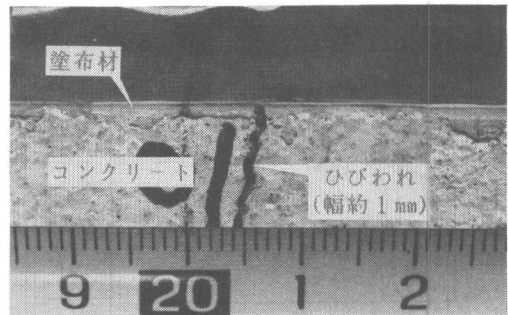


写真-4 塗布材Ⅲ (エポキシ系・軟質) Type-B

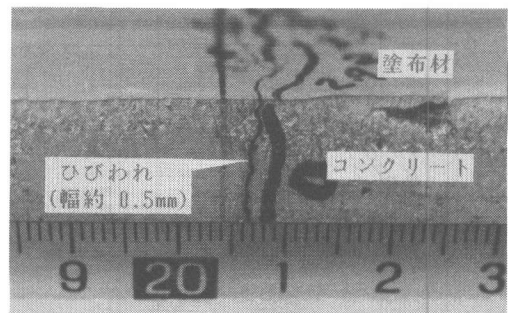


写真-5 塗布材Ⅱ (エポキシ系・硬質) Type-C

2) 塗布材のひびわれ追従性

つぎに、実験結果をもとに塗布材のひびわれ追従性に関する定量評価を試みた。ここで、コンクリート面に貼られたπゲージから測定された変位量 δ_c の解釈であるが、この中には発生したひびわれ幅と引張応力によるπゲージの標点距離間の引張変位を含んでいるとみなせる。しかし、①仮にコンクリートの最大引張応力 σ_t を $30\text{kg}/\text{cm}^2$ 、引張弾性係数 E_t を $2.1 \times 10^5 \text{kg}/\text{cm}^2$ とすると、πゲージの標点距離 $l=10\text{cm}$ 間のコンクリートの変位量は約 0.01mm ($=10 \cdot \sigma_t \cdot l / E_t$) となり、発生したひびわれ幅に対してほとんど無視できる値と考えられること、②目視観察によって測定されたひびわれ幅 w とπゲージによるコンクリート面の変位量 δ_c の相関も図-4に示すように良いこと、からπゲージの変位量 δ_c はひびわれ幅 w にほぼ等しいとみなすこととする。これよりコンクリート面の変位量 δ_c すなわちひびわれ幅 w と塗布材表面の歪量 ε_r との関係を整理したものが図-5である。図中の $\delta_c = \delta_r (= \varepsilon_r \cdot l, l: \text{歪ゲージの長さ})$ の直線は、コンクリート面の変位量 δ_c (ひびわれ幅 w) と塗布材表面の歪量 ε_r より換算した変位量 δ_r が等しい場合を示している。つまり測定されたデータがこの線上あるいは上部にあれば、少なくとも $\delta_c \geq \delta_r$ となり、塗布材がひびわれに対して追従していることになる。特にデータがこの線より上部に存在 ($\delta_c > \delta_r$) することは、コンクリートのひびわ

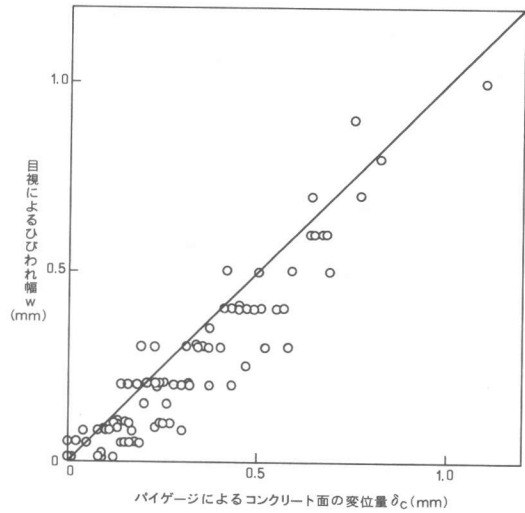


図-4 $\delta_c - w$ の関係

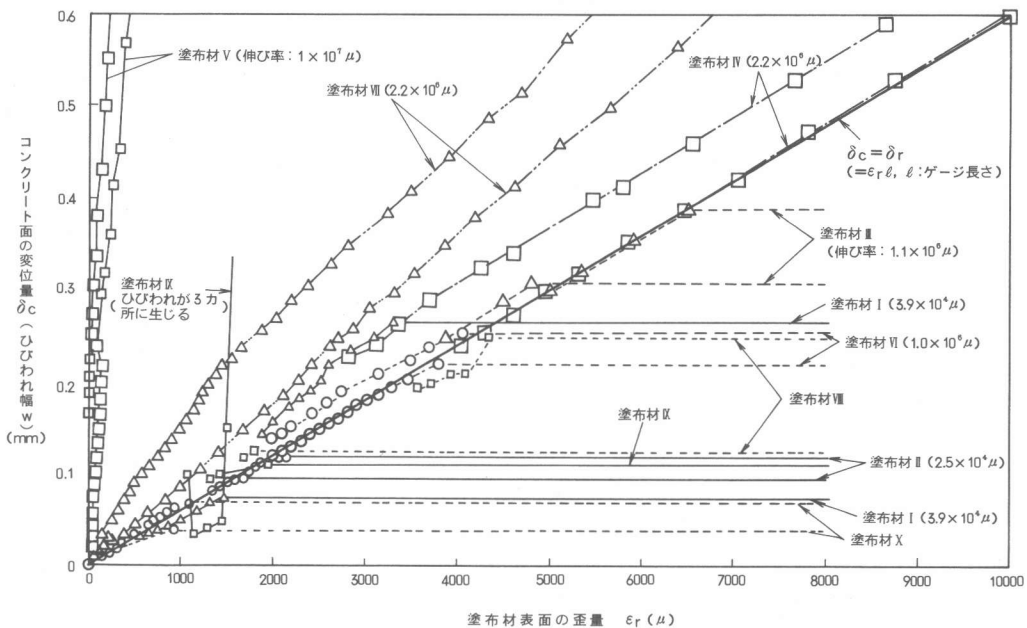


図-5 コンクリート面の変位量(ひびわれ幅)と塗布材表面の歪量の関係

れ幅が大きくなっても塗布材表面の変位量はその値よりも小さいことになり、塗布材がゲージ長さよりも長い範囲でひびわれによる歪を吸収していることが示唆される。一方、塗布材面にひびわれが発生し、ゲージが切れることにより塗布材表面の歪量 ε_r が急増する場合は、そのひびわれ幅程度までの追従性しかないことを示している。

そこで、図-3の分類に対応させて各種塗布材のひびわれ追従性をみると、まず (a) Type-Aに属した塗布材Ⅳ、Ⅴ、Ⅶにはひびわれは発生しなかったため、測定されたデータが $\delta_c = \delta_r$ 線上あるいは上部に存在しており、追従性に優れていることが伺える。特に塗布材Ⅴは、ひびわれ幅が0.6mmに達しているにもかかわらず、塗布材表面の歪量 ε_r は他の値に比べ非常に小さな値を示しており、極めて追従性に優れているといえる。これは、伸び率、塗膜厚とも今回使用した塗布材の中で一番大きかったことによると判断されるが、コンクリートとの接着強度は小さく、局所的な下地との剥離が生じている可能性もある。(b) Type-Bに属した塗布材Ⅲ、Ⅵは、ひびわれが発生するまでは、ほぼ $\delta_c = \delta_r$ 線上に存在し、コンクリートのひびわれが0.2~0.4mm程度で塗布材面にもひびわれが生じている。従って、発生するひびわれ幅を0.2mm程度に制御できるようであれば、ひびわれ追従性に関しては十分な効果を期待できるものと考え得る。一方 (c) Type-Cに属した塗布材Ⅰ、Ⅱ、Ⅷ、Ⅸ、Ⅹは、概ねひびわれ幅0.1mmが限界であるため、それ以上のひびわれに対する追従性はほとんど期待できず、特にⅠ、Ⅱ、Ⅸ、Ⅹは、ひびわれの発生が許されないような部位での使用には、注意を要することになる。

4. まとめ

種々の塗布材を施したコンクリート供試体に、人為的にひびわれを発生させ集中測定を行うことにより、各塗布材のひびわれ追従性について検討を行った。得られた成果をまとめると以下のとおりである。

- (1) コンクリートに発生したひびわれに対する塗布材の追従パターンを、幅1mm以上のひびわれにも追従することのできるType-A (ポリブタジエン系、ゴムアスファルト系、ポリマーセメントモルタル〔アクリル系〕)、幅0.1~0.2m程度のひびわれには追従することのできるType-B (エポキシ系〔軟質〕、ポリマーセメントモルタル〔エチレン酢酸ビニル系〕)、ひびわれにはほとんど追従できないType-C (エポキシ系〔硬質〕、ポリマーセメントモルタル+エポキシ、セメント系、含浸系)の3種類に分類することができた。
- (2) 3種類に分類した塗布材のひびわれ追従性に対し、その基本的性質を吟味し、コンクリートのひびわれ幅 w と塗布材の歪 ε_r との関係を明らかにすることによって、各塗布材のひびわれ追従限界を評価することができた。

なお、今回の実験は一般に使用されている塗布材をそれぞれの仕様に従って施工したため、塗布材の伸び率や塗膜厚等の付加的要因まで明確にするには至らなかったが、塗布材のひびわれ追従性に対する定量評価の足掛りを得ることができた。今後さらに進んだ研究を行うつもりである。

本研究成果は、科学技術庁より放射性廃棄物処理処分技術開発促進費補助を受け、題目「コンクリートピットのひびわれ制御・止水技術の開発」で実施したものの一部である。

最後に、本実験に協力していただいた熊谷組豊川研究室 松村哲夫氏に深くお礼申し上げる。

(参考文献)

- 1) 小林和夫, 岡田清他, コンクリート表面樹脂ライニングのひびわれ追従性, セメント技術年報 1986, PP.447~450