

## 農業用水路コンクリートの劣化特性

甲本 達也・\*佐口 政人  
(地圏環境学教室・\*株馬渡商会)  
平成14年9月30日 受理

### Deterioration Characteristics of Concrete for Agricultural Waterways

Tatsuya KOUMOTO, \*Masato SAGUCHI  
(Laboratory of Subsurface Environment・\*Mawatari & Company Inc.)  
*Received September 30, 2002*

#### Summary

Our studies of the concrete structures revealed that the farm structures such as the agricultural waterways are subject to more deterioration due to the exposure to the severe environmental conditions in comparison to other structures. When this deterioration of the concrete structure occurs over an extended period of time, the concrete loses its strength and becomes brittle thus requiring it to be repaired or restored in order to serve its purpose.

In order to prevent such deterioration from occurring, it is important to determine the mechanism of deterioration as well as the various factors involved.

In this study, the deterioration of the concrete was first surveyed on site at the agricultural waterways in the Shiroishi plain in Saga Prefecture in order to gather basic data to study the deterioration measures of the concrete structure.

Next, the concrete structure was tested under subjection to severe conditions by immersing the concrete structure in strong acid solution to measure the level of deterioration in the lab environment. Then the measurements from this deterioration process were compared with those measurements taken when the concrete structure was subjected to aquatic treatment.

**Key words** : concrete, deterioration, waterway, agriculture, neutralization

#### 1. はじめに

セメントの水和反応により生成される水酸化カルシウムは  $\text{pH}=12\sim13$  の強アルカリ性を示す<sup>1)</sup>。したがって、製造直後のコンクリート構造物は強アルカリ性を示すことになる。しかし、コンクリートは、現場において施工後は、経年的な劣化だけでなく、弱酸性の気体や酸性の雨または液体などと接触することによる中性化や、骨材中のある種の鉱物とコンクリート中の溶液との化学反応であるアルカリ骨材反応によるコンクリートの容積膨張・ひびわれといった劣化の途をたどる宿命にある。

コンクリート構造物の中でも、農業用水路などの農業用構造物はその機能上からみて他の構造物より  $\text{pH}$  の低い流下水などによる劣化（中性化による）を受けやすい劣悪な環境下にある

といえる。コンクリート構造物がこの様な環境下に長期間晒されてコンクリートの劣化が進むと、やがてはその機能が阻害されるようになり、その阻害の度合いによっては、構造物の改修が必要となる。

コンクリートの劣化対策を講じるためには、コンクリートの劣化のメカニズムを明らかにするとともにコンクリートの劣化状況を把握しておく必要がある。

本研究は、コンクリート構造物の劣化対策のための基礎資料を得るために、佐賀県白石平野における農業用水路を対象として、コンクリートの劣化の実体を現地調査するとともに、室内において、コンクリート供試体を強酸性の溶液中に浸漬して強度劣化を促進させた場合の強度劣化特性を、水中養生した場合の強度との対比において検討したものである。

## 2. コンクリート水路構造物の劣化状況調査及び結果<sup>2,3)</sup>

### (1) 調査位置の概況

調査は、図-1に示す佐賀県杵島郡白石町の県営圃場整備事業白石東地区で行った。本地区は、佐賀県西部の白石平野中心部で、潮汐の干満差が5.5mにも達する有明海の最奥部の沖積平野に位置し、地区の北部を東西に六角川が流れ、地区全体が低平地で標高は大部分が有明海の最高潮位3.8m以下である。標高は3.3m~0.5mで、傾斜は1/4,000~1/7,000,平均1/6,000内外である。

本地区一帯の地質は、一般に有明粘土層と呼ばれる軟弱な粘土またはシルト質粘土層からなる厚さ10m~20mの沖積層である。本地区は、県内でも有数の地盤沈下地帯であり、過去に地下水を農業用に過剰に汲み上げたために、20年間にわたり約2m沈下した経緯がある。現在も地盤沈下は依然として進行中である。

本地区では、昭和51年度から県営の地盤沈下対策事

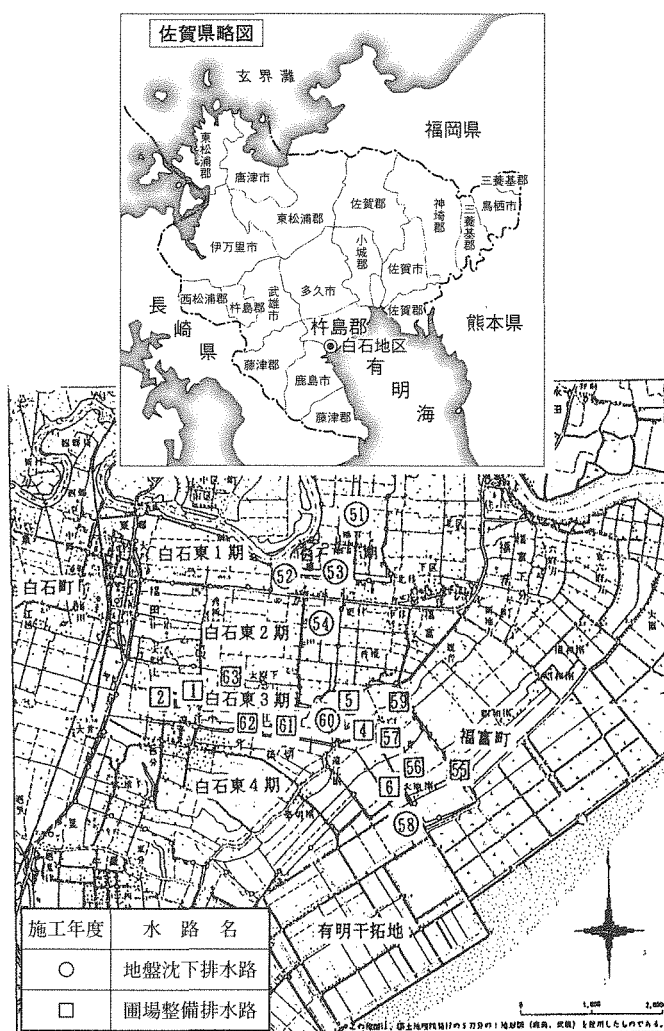


図-1 農業用水路コンクリートの劣化状況調査位置図

業として幹線のコンクリート製排水路が施工され、並行して圃場整備事業による支線のコンクリート製用・排水路が施工されてきた。これらの水路は、毎年計画的に延長施工されており、本地区には昭和51年～平成6年まで18年間分（平成3年は施工されず）の水路がある。今回、調査を実施した位置を施工年度（丸や四角で囲んだ数字）とともに図-1に示した。

## （2）調査及び結果

調査対象は、昭和51年（1976年）～平成6年（1994年）までの18年間にわたり施工された水路工のうち各年度当たり一カ所の計18の水路工である。各調査項目及び調査結果は以下のごとくである。

### 1) 水路工の形態

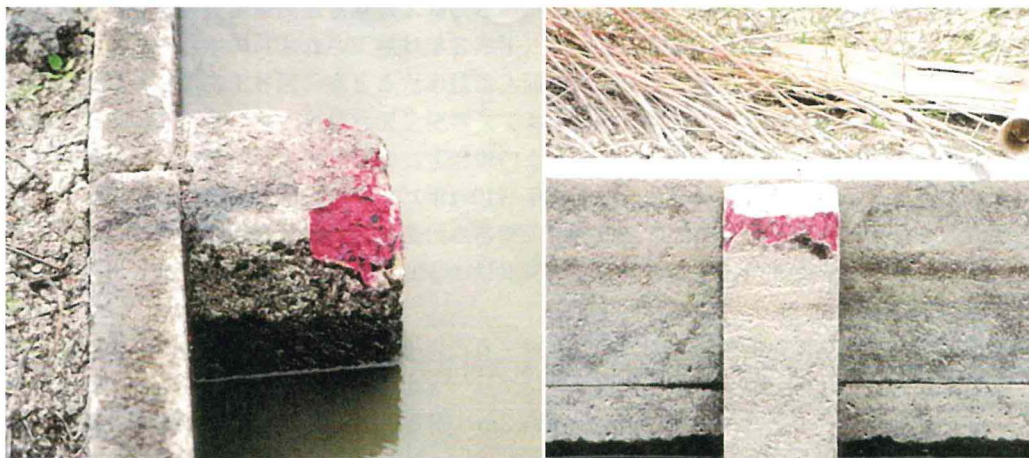
本地区で施工されている水路工の形態を大別すると以下の4タイプに分けられる。

- (1) 鉄筋コンクリート杭・板工： 鉄筋コンクリート土留杭（長さ、5 m、断面、15cm×15 cmと鉄筋コンクリート板（長さ1 m×幅0.3m×厚さ0.06m又は長さ1.5m×幅0.3m×厚さ0.07m）を組み合わせたもの
- (2) 鉄筋コンクリート組立柵工Ⅰ型： U型アーム（アーム内幅1 m×高さ0.6m×厚さ0.06 m）と鉄筋コンクリート板（長さ1 m×幅0.6m×厚さ0.1m）を組み合わせたもの
- (3) 鉄筋コンクリート組立柵工Ⅱ型： U型アーム（アーム内幅1 m×高さ0.6m×厚さ0.1 m、アームの断面はT型）と鉄筋コンクリート板（長さ1.4m×0.3m～0.5m×厚さ0.1 m）を組み合わせたもの
- (4) 鉄筋コンクリートU型工： U字溝（長さ2 m×幅0.6m×高さ0.6m×厚さ0.07m）調査対象の水路工を施工年度及び形態についてまとめると表-1のようである。

表-1 水路工の施工年度及び形態

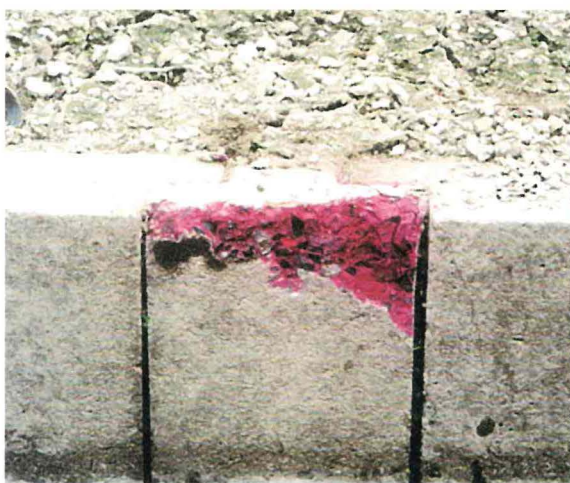
水路工番号	施工年度	水路工の形態
1	昭和51 (1976)	鉄筋コンクリート杭・板工
2	52 ( 77)	〃
3	53 ( 78)	〃
4	54 ( 79)	〃
5	55 ( 80)	鉄筋コンクリート組立柵工Ⅰ型
6	56 ( 81)	〃
7	57 ( 82)	〃
8	58 ( 83)	鉄筋コンクリート杭・板工
9	59 ( 84)	鉄筋コンクリート組立柵工Ⅰ型
10	60 ( 85)	〃
11	61 ( 86)	鉄筋コンクリート組立柵工Ⅰ型
12	62 ( 87)	〃
13	63 ( 88)	〃
14	平成1 ( 89)	〃
15	2 ( 90)	〃
16	4 ( 92)	鉄筋コンクリートU字工
17	5 ( 93)	〃
18	6 ( 94)	〃

また、各水路工の概況は写真-1に示すようである。



(1) 鉄筋コンクリート杭・板工

(2) 鉄筋コンクリート組立柵工Ⅰ型



(3) 鉄筋コンクリート組立柵工Ⅱ型



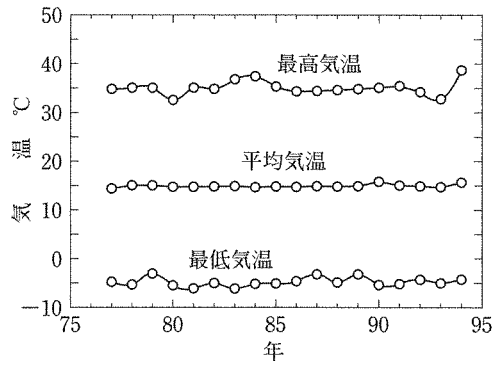
(4) 鉄筋コンクリートU型工

写真-1 水路工概況 (ピンク色に発色している部分はコンクリート表面を剥離した後フェノールフタレイン1%溶液をふりかけた箇所で、 $\text{pH}=9\sim 10$ であることを意味している)

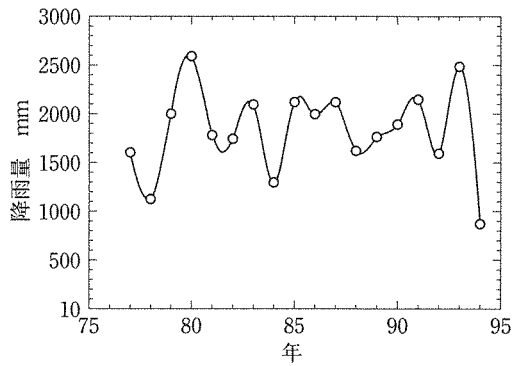
## 2) 水路を取り巻く環境

(1) 気象条件：佐賀地方気象台のデータによれば、白石平野の過去18年間における気温及び年間降雨量は図-2に示すようである。

(2) 水路流下水の水質：調査時における各水路の流下水の $\text{pH}$ 値、塩分濃度及び水温は表-2に示すようである。



(a) 白石平野の気温



(b) 白石平野の年間降雨量

図一 白石平野における年間気温及び降雨量  
(佐賀地方気象台のデータによる)

表一 水路流下水の pH, 塩分濃度及び水温

水路工番号	測定日	pH	塩分濃度 (Cl%)	水温 (°C)
1	平成 7. 11. 8	7.6	0.0066	10.2
2	5. 18	9.1	0.0044	30.5
3	5. 18	8.6	0.0040	26.7
4	5. 18	9.2	0.0040	28.6
5	6. 16	7.8	0.0326	28.6
6	6. 16	7.1	0.0204	29.0
7	6. 16	6.9	0.0102	28.9
8	5. 18	8.5	0.0094	26.3
9	6. 16	7.0	0.0082	25.7
10	11. 8	7.7	0.0104	11.7
11	11. 8	7.5	0.0080	10.4
12	11. 8	7.4	0.0080	10.4
13	11. 8	8.1	0.0084	11.8
14	11. 8	7.4	0.0036	13.2
15	11. 8	7.3	0.0044	13.1
16	6. 16	7.2	0.0090	24.1
17	11. 8	7.4	0.0072	11.7
18	6. 16	7.3	0.0190	29.1

## 3) シュミット・ハンマー法による反発硬度測定

シュミット・ハンマー法は、図-3に示すコンクリート・スクレロメーターを用いて、先端部のコンクリート表面における反発硬度Rによりコンクリート表層の硬さを測定するものである。水路コンクリートを直接破壊して強度を求めることが出来ないこと、コンクリートの劣化は表層部から深部へと進むであろうことを考慮すると、本方法は現位置におけるコンクリートの非破壊強度測定方法として有用と思われる。しかし、反発係数Rからコンクリートの圧縮強度を換算するにはコンクリートの強度を支配している、配合、施工、養生、使用材料などについて精度のよいキャリブレーションカーブを求めておく必要がある<sup>4)</sup>。ここではR値をコンクリートの定性的な相対強度とみなし、コンクリートの相対的な強度劣化の指標として用いた。

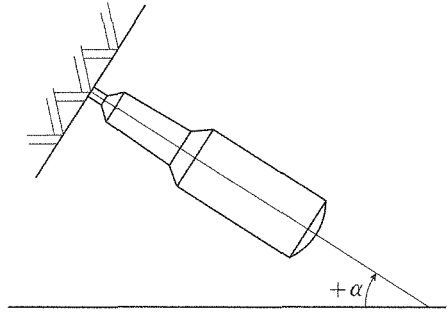


図-3 コンクリート・スクレロメーターによる測定状況

シュミット・ハンマー試験は、各水路工の、水路壁及び杭の上部(図-3の $\alpha = -90^\circ$ に相当)及び杭の頂部より下方5~10cmの側面(図-3の $\alpha = 0^\circ$ に相当)において行った。測点は、各水路工当たり5地点とし、測定回数は各地点とも5回づつとした。

各水路工について得られたシュミットハンマー測定値25個の最小値、最大値及び平均値を表-3に示す。

表-3 シュミットハンマー測定結果

水路工 番号	反発硬度 R								
	水路壁上部 $\alpha = -90^\circ$			杭上部 $\alpha = -90^\circ$			杭上部 $\alpha = 0^\circ$		
	最小値	最大値	平均値	最小値	最大値	平均値	最小値	最大値	平均値
1	25.3	32.7	29.0	26.7	32.7	29.4	29.0	32.3	30.3
2	26.7	32.3	28.8	22.7	26.0	24.5	16.7	23.3	20.3
3	30.3	34.3	32.9	28.3	32.7	30.2	24.0	29.7	26.6
4	25.3	31.0	28.7	28.0	31.0	30.0	26.0	28.7	27.16
5	31.7	35.3	33.1	36.7	40.0	38.7	28.7	35.7	32.36
6	39.7	42.0	40.6	40.7	44.7	41.9	30.0	34.3	32.66
7	27.0	31.0	29.0	37.0	39.7	37.7	25.7	27.7	26.46
8	27.7	38.3	33.4	36.0	39.7	38.1	30.7	36.7	33.96
9	28.3	41.0	34.5	34.7	38.7	36.9	26.3	30.0	28.56
10	34.3	40.0	36.8	31.0	37.3	33.1	27.7	34.0	29.96
11	24.3	30.0	27.9	40.0	44.7	42.9	27.0	34.0	29.96
12	32.0	38.7	34.4	37.3	43.0	40.3	25.3	36.7	29.96
13	27.0	32.7	30.7	40.3	43.3	41.5	23.3	34.7	30.46
14	34.0	36.7	35.3	42.3	49.3	45.5	27.3	33.0	30.86
15	37.7	43.3	39.4	36.7	44.0	41.0	22.7	27.3	24.76
16	42.7	46.7	44.8	42.7	46.7	44.8	33.3	37.0	36.56
17	43.3	48.3	44.9	43.3	48.3	44.9	34.3	38.3	36.16
18	43.3	48.7	46.5	43.3	48.7	46.5	41.3	44.7	43.16

4) コンクリート碎片の pH

コンクリートの劣化は表面から内部へ進行していくので、コンクリート表層部より採取した小ブロックについて pH の変化を調べた。pH は採取したブロックを碎片(820 $\mu$ mふるい通過分)にし、碎片10g に対して水道水25mlを加えて攪拌し、1時間静置の後測定した。ただし、水道水の pH 及び水温はそれぞれ7.5及び18 $^{\circ}$ Cであった。これらの測定結果を表-4 に示す。

表-4 コンクリート表層部碎片の pH

水路工 番 号	pH			
	1	2	3	平均値
1	10.5	10.4	10.2	10.4
2	9.5	9.4	9.5	9.54
3	10.2	10.7	10.6	10.54
4	10.2	10.2	10.4	10.34
5	12.2	12.2	11.4	11.94
6	12.2	12.3	12.2	12.24
7	11.9	11.9	11.9	11.94
8	12.2	12.3	12.2	12.24
9	11.5	10.7	11.0	11.14
10	12.3	12.3	12.3	12.34
11	11.0	11.3	11.3	11.24
12	11.5	11.7	11.7	11.64
13	11.9	11.9	12.1	12.04
14	12.0	12.1	12.2	12.14
15	12.0	12.1	12.0	12.04
16	11.7	12.1	12.1	12.04
17	11.9	12.1	12.0	12.04
18	12.3	12.3	12.3	12.34

注) コンクリート碎片10g と水25mlの溶液を作成後1時間放置して測定、ただし、水の pH=7.5、水温18 $^{\circ}$ C

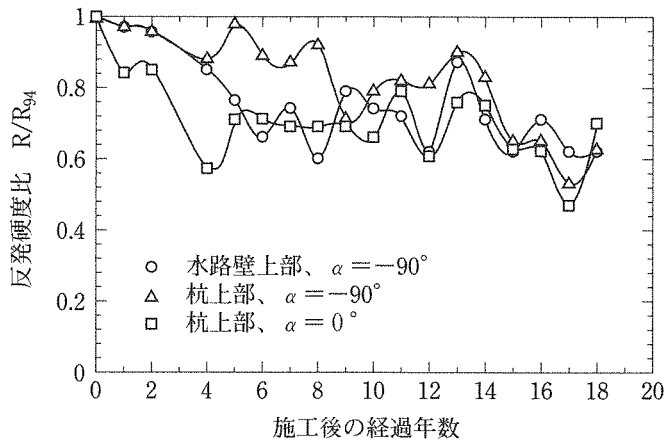


図-4 反発硬度比 R/R<sub>94</sub> の経年変化

5) シュミット・ハンマー反発硬度  $R$ 

表-3によれば、概して施工年度の新しいものほど $R$ の値は大きいといえる。いま、現時点で最も新しい平成6年度施工の水路コンクリートの $R$ と各年度施工の水路コンクリートの $R$ との比、すなわち、反発硬度比 $R/R_{94}$ を水路施工後の経過年数に対して示したものが図-4である。図によれば、反発硬度比は経過年数とともに漸減し、最低で $R/R_{94}=0.5$ となっている。このことから、水路コンクリートの少なくとも表層部では、施工後は経年的に強度劣化を引き起こし、しかも劣化の度合いは施工直後の約50%にまで落ちることが伺われる。

## 3. コンクリートの劣化促進実験及び結果

上述の調査結果より、コンクリート水路構造物は、コンクリート表層部から経年的な $pH$ の低い流水による劣化作用(中性化による)を受けていることが明らかとなった。そこで、以下に、室内においてコンクリート供試体を低い $pH$ の溶液中に浸漬して強度劣化を促進した場合の強度劣化特性を水中養生した場合の各種強度との対比において検討する。

## (1) 実験

実験には、細骨材として佐賀県唐津市の海砂を、粗骨材として安山岩の碎石1305を用いた。細骨材、粗骨材ともにアルカリシリカ反応性試験の判定結果、無害であった。両骨材の試験結果は表-5の通りである。

表-5 骨材試験結果

	表乾比重	吸水率 (%)	単位容積質量(kg/l)	実績率 (%)	粗粒率 (Fm)
細骨材	2.59	1.60	1.60	3.35	2.80
粗骨材	2.59	2.24	1.48	9.55	6.23

セメントはJIS R5210に規定されている普通ポルトランドセメントを使用した。コンクリートの配合設計を表-6に示す。コンクリート供試体は、直径5cm、高さ10cmの円柱形の物を54個作成した。

表-6 コンクリートの配合設計

粗骨材の最大寸法 (mm)	スランブの範囲 (cm)	空気量の範囲 (%)	水セメント比 w/c (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )			
					水 w	セメント c	細骨材 s	粗骨材 G
13	5.9	2.65	49.4	31	170	344	565	782

実験は、まず、供試体を恒温恒湿室(温度20℃、湿度100%)で4週間水中養生した後、これらの中から、24本の供試体を $pH=3$ の養生溶液(コンクリート2次製品工場のボイラーからの煤煙による廃液で主成分は硫酸化物及び窒素酸化物)に浸漬し、残りをそのまま水中にて養生した。これらの供試体について、所定の日数(2, 4, 8, 16, 32週)経過後に、圧縮試験、引張試験、シュミットハンマー試験を行った。各試験当たりの個数は3個とした。養生溶液及び養生水は各試験ごとに $pH$ を測定した後入れ換えた。供試体養生期間中の養生溶液及び養生水の $pH$ の経日変化を表-7に示す。表によれば、養生溶液の $pH$ は全試験期間を通じて $pH=4$ 前後でほぼ一定であったが、養生水の場合は日数が経過するに連れて $pH$ は低下し、



水道水の pH に近い値にまで下がったことがわかる。

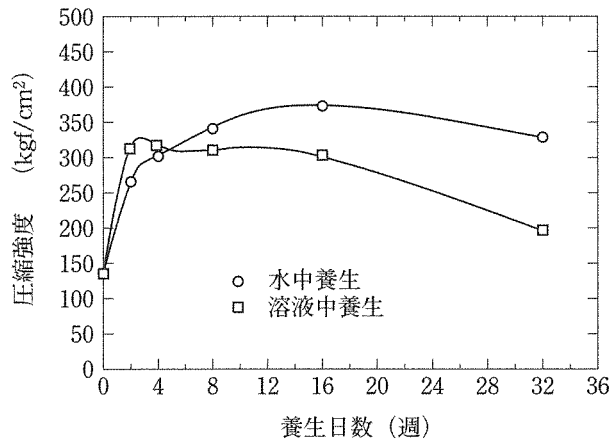
表一七 養生水及び養生溶液の pH

週	0	2	4	8	16	32
水	12.5	11.6	11.4	9.9	8.7	8.7
溶液	3.5	5.8	4.5	3.9	4.4	3.4

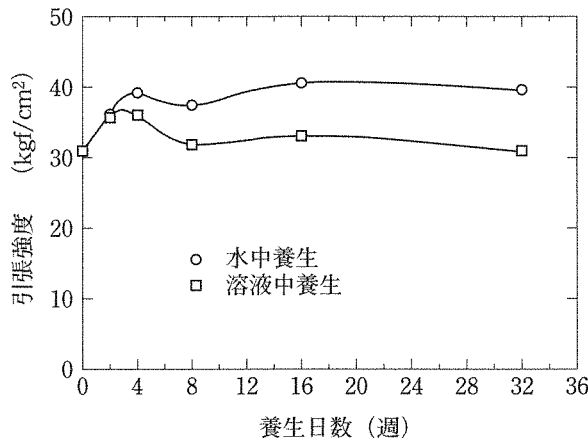
(2) 実験結果

1) 圧縮強度：図一五は、圧縮試験により得られたコンクリート供試体の圧縮強度の養生日数に対する変化を示したものである。図によれば、水中養生の場合、圧縮強度は養生日数とともに増加し8週以降ほぼ一定値に達するのに対し、溶液中養生の場合、4週目以降圧縮強度は緩やかにではあるが低下に転じている。

2) 引張強度：図一六は、引張試験により得られたコンクリート供試体の引張強度の養生日数に対する変化を示したものである。図によれば、水中養生の場合、引張強度は4週目以降一定となるのに対し、溶液中養生の場合、4週目以降若干低下する傾向にある。

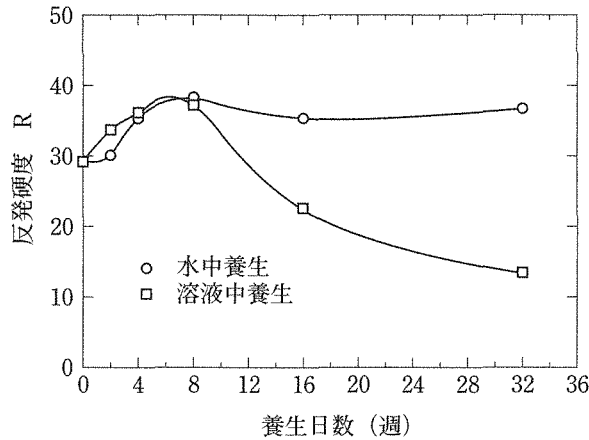


図一五 圧縮強度の経日変化



図一六 引張強度の経日変化

3) 反発硬度：図一7は、シュミットハンマー試験により得られたコンクリート供試体の反発硬度の養生日数に対する変化を示したものである。図によれば、反発硬度はいずれの場合も養生日数とともに増加するが、8週目以降、水中養生の場合はほぼ一定となるのに対し、溶液中養生の場合は大きく減少に転じている。

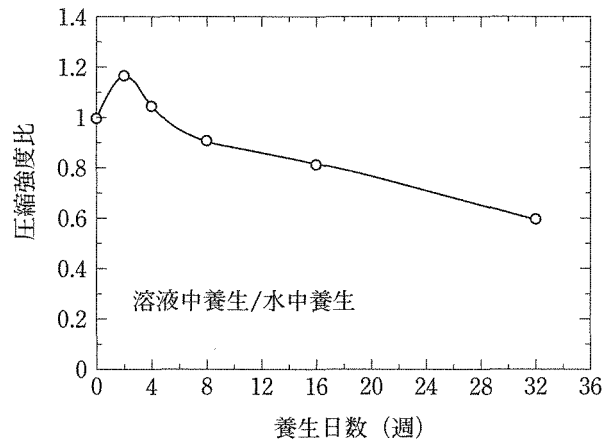


図一7 反発硬度の経日変化

### (3) 考察

#### 1) 圧縮強度比の経日変化

図一8は、溶液中養生した供試体の圧縮強度と水中養生した供試体の圧縮強度の比の経日変化を示したものである。図において、0週までの養生条件は全ての供試体において同じであるので、この材令の時の強度比を1としている（以下の考察においても同様である）。図によれば、32週で溶液中養生の場合の圧縮強度は水中養生の場合の約70%にまで低下することがわかる。



図一8 圧縮強度比の経日変化

## 2) 引張強度比の経日変化

図-9は、溶液中養生した供試体の引張強度と水中養生した供試体の引張強度の比の経日変化を示したものである。

図によれば、32週で溶液中養生の場合の引張強度は水中養生の場合の約80%にまで低下することがわかる。

## 3) 反発硬度比の経日変化

図-10は、溶液中養生した供試体の反発硬度と水中養生した供試体の反発硬度の比の経日変化を示したものである。図によれば、32週で溶液中養生の場合の反発硬度は水中養生の場合の約40%にまで大きく低下することがわかる。

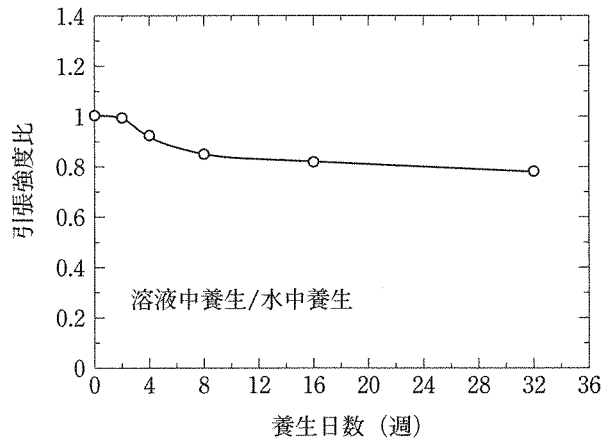


図-9 引張強度比の経日変化

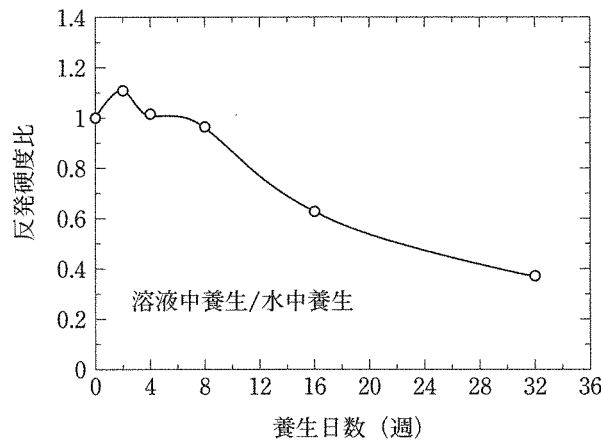


図-10 反発硬度比の経日変化

一般に、反発硬度は、圧縮強度や引張強度の場合より供試体表面付近の劣化の影響を大きく反映するものと考えられるが、図-8~10からも、低下率は反発硬度比の場合がもっとも大きい。よって、コンクリートの強度劣化は予測されたようにコンクリートの表面から進行することが確認される。

#### 4. お わ り に

以上の研究より、現地において水路コンクリートは施工後年月を経ると強度劣化しており、また室内実験からもコンクリートは低酸性環境下で長時間晒されると強度劣化することが定性的に明らかとなった。今後は強度劣化の定量的把握法の確立につとめ、これらの成果を現地におけるコンクリート水路改修のための資料作成などに役立てて行きたい。

#### 摘 要

コンクリート構造物の中でも、農業用水路などの農業用構造物はその機能上からみて他の構造物より pH の低い流水による劣化（中性化による）を受けやすい劣悪な環境下にある。コンクリート構造物がこの様な環境下に長期間晒されてコンクリートの劣化が進むと、やがてはその機能が阻害されるようになり、その阻害の度合いによっては、構造物の改修が必要となる。

コンクリートの劣化対策を講じるためには、コンクリートの劣化のメカニズムを明らかにするとともにコンクリートの劣化状況を把握しておく必要がある。

本研究では、まずコンクリート構造物の劣化対策のための基礎資料を得るために、佐賀県白石平野における農業用水路を対象として、コンクリートの劣化の実体を現地調査した。つぎに、室内において、コンクリート供試体を強酸性の溶液中に浸漬して強度劣化を促進させた場合の強度劣化特性を、水中養生した場合の強度との対比において検討したものである。

#### 引 用 文 献

- 1) 岸谷孝一、他編：中性化、技報堂、p.1 (1990)
- 2) 甲本達也：農業用水路コンクリートの劣化特性に関する調査研究、平成6年度～平成7年度科学研究費補助金（総合研究「A」）研究成果報告書「コンクリートの劣化特性調査及び品質改良に関する研究」、pp.43-52 (1996)
- 3) 甲本達也・佐口正人・豊増紀彦：白石平野におけるコンクリート製水利構造物の劣化特性に関する調査研究、低平地研究、6、佐賀大学低平地防災研究センター、pp.84-90 (1997)
- 4) 高林利秋：こわさずにコンクリートを試験する方法、理工図書、pp.29-32 (1973)