

コンクリート水路のひび割れ補修材料に必要な伸び性能

上野和広* 長束 勇** 野中資博** 石井将幸**

*鳥取大学大学院連合農学研究科, 〒680-8553 鳥取県鳥取市湖山町南 4-101

**島根大学生物資源科学部, 〒690-8504 島根県松江市西川津町 1060

要 旨

農業用コンクリート水路に発生したひび割れを補修する材料に要求される伸び性能を明らかにするため、農業用水路においてひび割れ幅の日変動量調査および年変動量調査を実施した。その結果、長く薄いコンクリート版から構成される農業用水路では、短期的な温度の日変化によってひび割れ幅が大きく変動することが確認され、施設機能評価・診断、補修の際にはその変動を考慮することの必要性が明らかとなった。また、ひび割れ幅の変動を推定する手法として、過去の温度履歴を考慮した推定式を提案し、その妥当性を評価した。さらに、最も狭くなったときのひび割れ幅に対するひび割れ幅の変動割合を算出したところ、日変化で最大約 37.8%、年変化で最大約 68.6%であり、補修材料に要求される伸び性能が明らかになった。

キーワード：ひび割れ幅，ひび割れ補修，農業用水路，躯体表面温度，温度履歴

1. はじめに

供用中の施設に対して実施される機能診断において、ひび割れ幅は施設の健全度評価および性能の将来予測を行う上で重要な指標となる。しかし、施設を構成するコンクリートの線膨張係数は一般に $10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ とされており、温度変化に伴って伸縮するため、ひび割れ幅も変動すると考えられる。したがって、ひび割れ幅の測定およびひび割れ幅に基づく機能診断を行う際には、その影響を考慮する必要がある。それを怠れば有害性の判断に相違が生じる可能性がある。

従来、こうしたひび割れ幅の変動は、一部の構造物においては年間を通した温度変化による影響が考慮されてきたが、日変化による影響は必ずしも考慮されてこなかった。これは、重要構造物であるコンクリートダムや頭首工などに発生するひび割れに注目されてきた結果であり、マスコンクリートでは内部までの熱伝導に長時間を要することから、短期的な温度変化の影響を考慮する必要性が低いことに起因する。しかし、農業用水路は長く薄いコンクリート版から構成される構造物であり、比較的短時間のうちに熱が内部まで伝導するため、1日の温度変化の中でもひび割れ幅が変動することが考えられる。

一方、ひび割れが有害と判断された際に、劣化因子の侵入あるいは漏水の防止を目的として適用される補修工法は、ひび割れ幅の変動に追従する必要がある（コンクリート補修・補強マニュアル編集委員会, 2003）。これは、ひび割れ幅の変動に起因して補修材料に割れが発生するといった再劣化を防ぐためであり、補修材料はひび割れ幅の変動割合以上の伸び性能を有することが要求される。

ひび割れ幅の変動割合は、ひび割れ幅を w 、ひび割れ幅の変動量を Δw とすれば、 $\Delta w/w$ で表されることから、補修工法に要求される伸び性能を決定するには、適用する構造物の躯体に存在するひび割れの幅および変動量を把握することが必要となる。

そこで本研究では、農業用水路におけるひび割れ幅の変動特性を明らかにし、それらをひび割れ幅測定や機能診断の際に考慮することの必要性を提案した上で、補修材料に要求される伸び性能の決定へ寄与するため、ひび割れ幅の日変動量および年変動量の調査を実施した。また、躯体に存在する目地についてもひび割れと同様にその幅の変動が考えられたため、同様の調査を行った。

2. 調査場所および調査方法

2.1 調査対象水路の概要

調査対象水路は、島根県松江市で供用中の農業用水路である。この水路は、Fig.1 に示すように東を上流として東西方向に設置されているため、水路壁内面は右岸側水路壁が南面、左岸側水路壁が北面となる。南面水路壁の背後はアスファルト舗装道路、北面水路壁の背後は水田に利用されており、両面ともに水路壁には背面土が存在する。なお、この水路は農業用排水路であるため水量は年間を通して少なく、調査実施時の水深は最も深い場合で 5cm 程度であった。

この水路に発生していたひび割れは Fig.1 における南面②および北面②の位置に存在しており、南面水路壁から北面水路壁まで連続した 1 本のひび割れが発生していた。なお、このひび割れは、発生状況から外部拘束によ

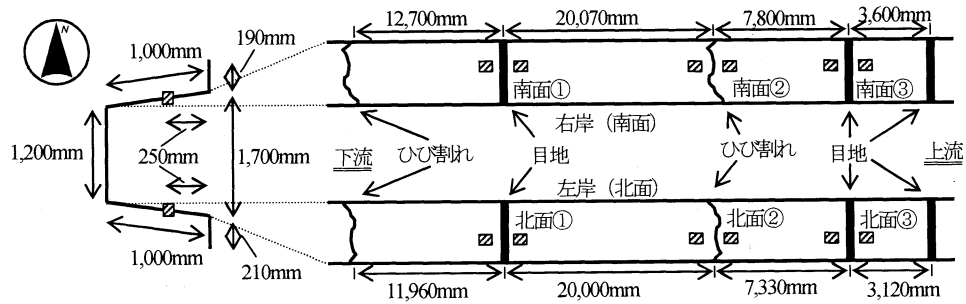


Fig.1 調査対象水路の概要図および測定点
Outline of investigated canal and measurement points

Table 1 日変動量調査方法の詳細
Details of one day investigation

調査時期	変動量測定箇所 (Fig.1を参照)	測定開始時刻	測定終了時刻	調査継続時間	測定器具			測定頻度		
					変動量	外気温	躯体表面温度	変動量	外気温	躯体表面温度
3/15~3/16 (Case1)	南面②, 南面③ 北面②, 北面③	12:01	12:16	24:15	亀裂変位計	熱電対 T (CC)	アルコール温度計	15分に1度	15分に1度	30分に1度
10/27~10/28 (Case2)	南面②, 北面②	11:12	11:47	24:35	亀裂変位計	熱電対 T (CC)	熱電対 T (CC)	5分に1度	5分に1度	5分に1度
12/20~12/21 (Case3)	南面②, 北面②	14:47	16:57	26:10	亀裂変位計	熱電対 T (CC)	熱電対 T (CC)	5分に1度	5分に1度	5分に1度

貫通した温度応力ひび割れと推察されたものである。また、Fig.1における南面①、北面①、南面③、北面③はいずれも目地であり、止水板は設置されていない。

2.2 日変動量の調査方法

日変動量調査は、補修工法が施工可能な非灌漑期において外気温の日変化が比較的大きいと予想された日を選定し、2006年に3度 (Case1: 3月15日~16日, Case2: 10月27日~28日, Case3: 12月20日~21日) 実施した。測定に用いた器具は亀裂変位計 (感度: 約 $1,500 \times 10^{-6} / \text{mm}$) である。また、温度条件として、外気温および躯体表面温度の測定を行った。調査方法の詳細を Table 1 に示す。Case1 における調査では、データロガーによるデータ収集可能数が 5 という制約から、外気温による幅の変動が予想されたひび割れおよび目地幅の変動特性を明らかにするため、Table 1 に示す 4 点を測定箇所として選定した。また、Case3 の測定では、変動量と温度の関係についてより詳細なデータを得るため、ひび割れ部のみに対し多頻度で測定を行った。なお、いずれの調査期間においても調査の継続時間は 24 時間以上とした。

2.3 年変動量の調査方法

年変動量調査は、コンタクト・マイクロン・ストレインゲージ (精度: 0.001mm) を用い、モルタルおよびコンクリートの長さ変化試験方法 (JIS A 1129-2-2001) に準じて測定を行った。測定箇所は Fig.1 における南面①~③、北面①~③の 6 箇所である。2006年1月13日から測定を開始し、1ヶ月に1度の頻度で外気温および躯体表面温度とともに変動量の測定を行った。なお、測定を実施した時刻は、ひび割れ幅の日変動の影響を避けるため、午前 10

時頃で統一した。

2.4 ひび割れ幅の測定方法

ひび割れ幅の測定は、日変動量調査 Case3 の期間中にレーザー変位計 (繰り返し精度: $0.5 \mu \text{m}$) を使用することにより実施した。なお、その際にはコンタクト・マイクロン・ストレインゲージを用いた年変動量調査と同様の測定も併せて行った。これは、ひび割れ幅の測定結果を年変動量調査結果と組み合わせ、ひび割れ幅の年変動を明らかにするためである。2体のレーザー変位計をそれぞれ水路壁表面の横位置測定用、鉛直方向測定用として用い、取得した水路壁の表面形状からひび割れ幅を読み取った。

3. 結果と考察

3.1 日変動量調査

日変動量調査結果を Fig.2 に示す。なお、グラフ上部に記したマークは、測定 1 日目および 2 日目の天気を表している。

3.1.1 温度条件の変化特性

温度条件の日変化を見ると、いずれの調査期間内においても外気温および躯体表面温度は変化しており、12時から15時の日中で最高値を、1時から7時の夜間で最低値を示している。ここで、外気温と躯体表面温度を Fig.2 において比較すると、北面では全調査期間を通して両者の較差が小さく、ほぼ同一の変化傾向を示しているのに対し、南面では時間帯によって較差が大きくなり、異なった変化傾向を示している。南面の躯体表面温度が外気温と大きな較差を示すのは、いずれも晴れの日中におい

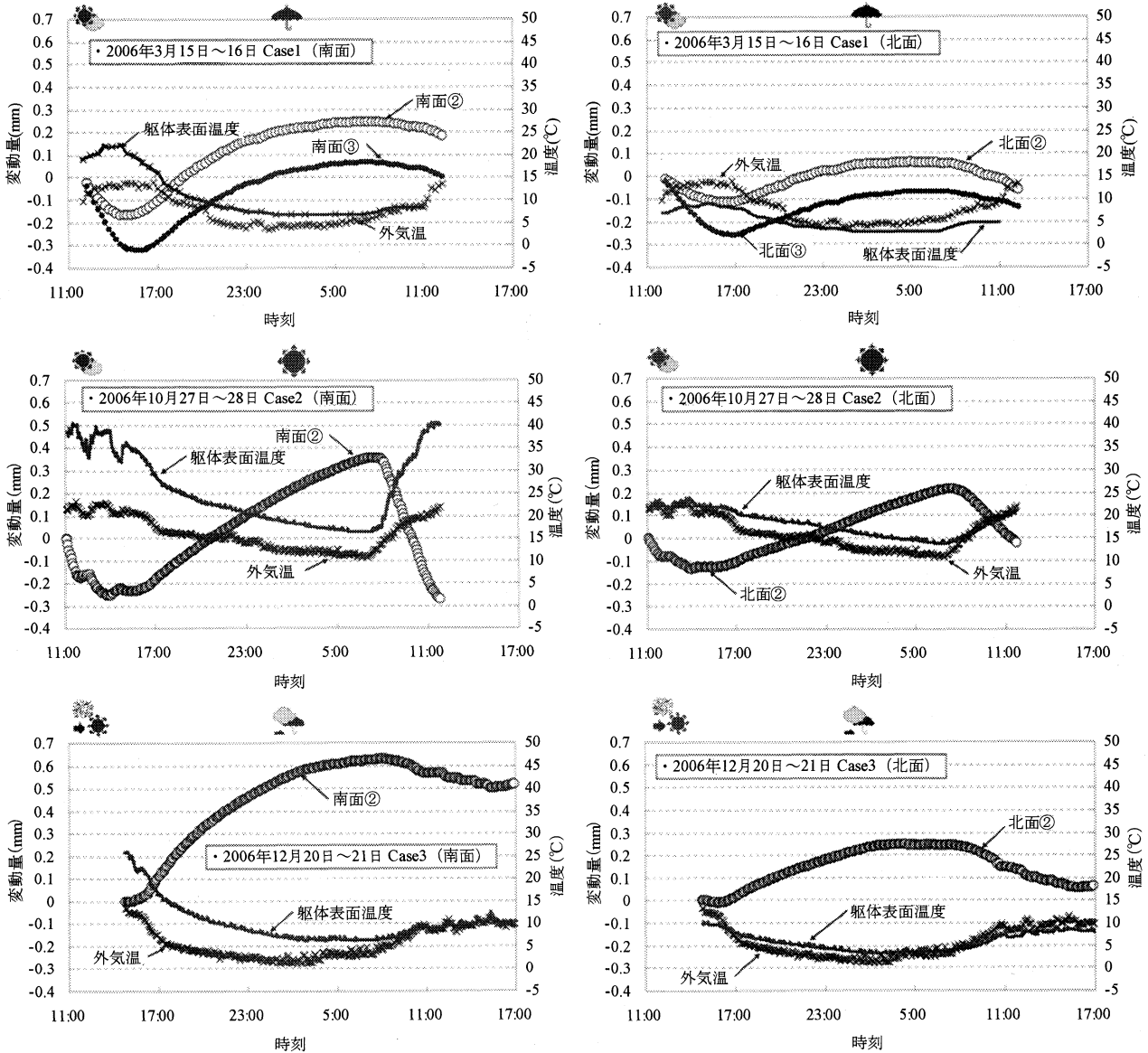


Fig.2 ひび割れ幅の日変動および温度変化
Daily crack width fluctuations and temperature change

てであり、南面側の水路壁では太陽光の輻射による温度上昇があったと考えられる。晴れの日中における躯体表面温度の南北較差は約 13°C~19°C 程度であり、雨天時の約 3°C と比較してその影響は非常に大きい。なお、太陽光の輻射の影響の少ない北面、雨天時あるいは夜間の躯体表面温度は、外気温から推定可能と考えられる。

3.1.2 ひび割れ幅および目地幅の変動特性

Fig.2 においてひび割れ幅および目地幅の日変動量を見ると、いずれの測定箇所および測定時期においても約 24 時間といった短い期間内での変動を確認することができる。その変動は温度条件の変化と明確な規則性を有しており、やや時間遅れはあるものの温度上昇に伴い各幅は縮小し、温度が低下すると拡大する。これより、農業用水路はその構造特性から短期的な温度の日変化によっても伸縮し、ひび割れおよび目地幅は変動することが明らかとなった。また、Table 2 に示した各測定箇所における

実測日変動幅を見ると、その値は 0.175mm~0.629mm であり、鉄筋コンクリート水路に対する許容ひび割れ幅 0.4mm (石井ら, 2007) を考慮すると非常に大きく、機能診断を行うに際して決して無視できるものではない。すなわち、農業用水路に発生したひび割れは、短期的に大きく変動するにも拘らず、評価・診断の際にその変動が考慮されない状況にあり、測定時の温度条件によって診断結果が異なる可能性が十分にある。したがって、ひび割れ幅の日変動を考慮した適切な評価・診断手法の確立が早急に求められる。

次に、各測定箇所間における影響躯体長の相違が日変動幅に与える影響を排除するため、単位影響躯体長あたりの日変動幅を算出すると、Table 2 に示した値になる。なお、影響躯体長とは各測定箇所の上流側躯体に存在する不連続部(ひび割れあるいは目地)から下流側躯体の不連続部までの距離を半分にした長さであり、水路躯体

Table 2 日変動量調査結果
Result of one day investigation

	実測 日変動幅 (mm)	影響 躯体長 (m)	単位影響躯体長 あたり日変動幅 (mm/m)	対応 温度差 ^[1] (°C)	理論 日変動幅 ^[2] (mm)	実測日変動幅 理論日変動幅	
3/15~3/16 (Case1)	南面②	0.415	13.935	0.030	13.0	1.812	0.23
	北面②	0.175	13.665	0.013	5.5	0.752	0.23
	南面③	0.389	5.700	0.068	13.0	0.741	0.52
	北面③	0.189	5.225	0.036	5.0	0.261	0.72
10/27~10/28 (Case2)	南面②	0.612	13.935	0.044	21.7	3.024	0.20
	北面②	0.349	13.665	0.026	9.0	1.230	0.28
12/20~12/21 (Case3)	南面②	0.629	13.935	0.045	19.2	2.676	0.24
	北面②	0.261	13.665	0.019	6.1	0.834	0.31

[1] 対応温度差: 変動量の上ピークおよび下ピークを示した時刻に対応した躯体表面温度の差

[2] 水路躯体の線膨張係数を $10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ と仮定し, (線膨張係数) \times (影響躯体長) \times (対応温度差) より算出

が上下流方向の中央部を基準として対称的に伸縮するとの仮定に基づき求めた影響範囲である。単位影響躯体長あたりの日変動幅を比較すると、その値は各測定箇所によって異なっており、北面側より南面側で、また、ひび割れより目地で大きくなる傾向にある。Table 2 に示した対応温度差が南面側と北面側で大きく異なることを踏まえると、水路躯体の伸縮は外気温よりも躯体表面温度の変化に応じて生じ、対応温度差の大きい南面側でより大きく変動したと考えられる。一方、目地よりもひび割れの日変動幅が小さい理由は、ひび割れ内における鉄筋の拘束が強いためと考えられる。

さらに、水路躯体の線膨張係数を $10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ と仮定した場合の理論的な日変動幅を算出し、実測日変動幅と比較した結果を Table 2 に示す。いずれの測定箇所においても実測日変動幅は理論日変動幅と比較して小さく、その割合はひび割れで 0.20~0.31、目地で 0.52, 0.72 であった。鉄筋の拘束の無い目地における値は、ひび割れ調査の際に用いられる一般的な拘束度(土木学会, 2002; 日本コンクリート工学協会, 1986)と同程度であることから、これらの拘束度を参考に変動量の推定が可能と考えられる。また、目地においても理論値より変動幅が小さい理由は、水路躯体と地盤の間に拘束があること、あるいは水路躯体が薄いコンクリート構造であっても1日の温度変化では内部まで十分に熱が伝導するには至らず、躯体表面温度の変化幅ほど伸縮しないことなどが考えられる。

3.1.3 ひび割れ幅の変動推定式

これまでの分析の結果、各幅の日変動に与える影響は外気温よりも躯体表面温度の方が大きいことが明らかとなり、また一方で、その変動には温度変化に対してある程度の時間遅れがあることが示唆された。ここで、測定開始時からのひび割れ幅の日変動量と躯体表面温度の変化の関係を Fig.3 に示す。ひび割れ幅の日変動量は、躯体表面温度の上昇(下降)に伴い低下(増加)し、Fig.2 で見た温度と日変動量の負の相関性を改めて確認することができる。しかし、躯体表面温度が下降から上昇へ転じた前後の日変動量を比較すると、いずれの測定時期においても温度下降時の軌跡をなぞらず、緩やかに日変動量が低下しており、温度履歴に起因したヒステリシスループを描いている。これより、ひび割れ幅の日変動量は躯体

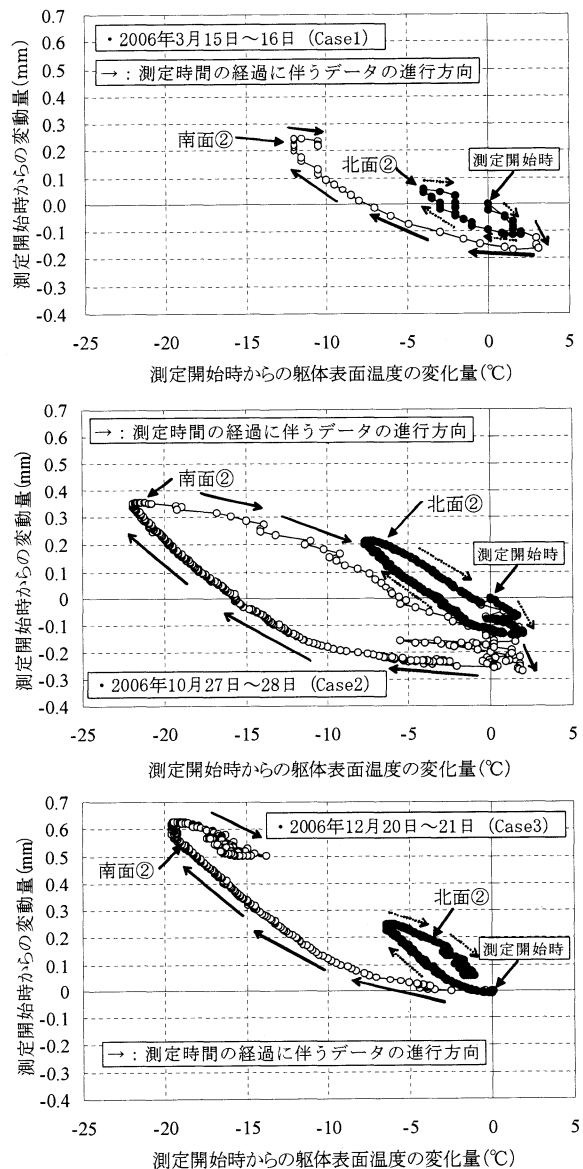


Fig.3 ひび割れ幅の変動量と躯体表面温度の変化の関係
Relationship between crack width fluctuation and surface temperature change

体表面温度と強い相関を示すものの、その変化に即座に反応するものではなく、ある程度の時間遅れを伴って変動することが明らかとなった。そこで、躯体表面温度の変化に対応するひび割れ幅の日変動がどの程度遅れて生

じるのか、その推定手法について検討を行った。

水路躯体が躯体表面温度の変化に応じて即座に伸縮するとした理想的な状況では、ひび割れ幅の変動量は式(1)により求められる。

$$\Delta w = -\alpha \cdot \Delta T \cdot L \cdot R \quad (1)$$

ここに、 Δw ：ひび割れ幅の変動量 (mm)、 α ：水路躯体の線膨張係数 ($^{\circ}\text{C}$)、 ΔT ：躯体表面温度の変化量 ($^{\circ}\text{C}$)、 L ：影響躯体長 (mm)、 R ：拘束度である。

式(1)は Δw が ΔT の変化に伴って比例的に変動する関係を示しているが、実際には Δw が測定時以前の温度履歴による影響を受けるため、Fig.3に示すようにその関係は線形とはならない。そこで、各測定時間からある時間前まで遡った範囲の躯体表面温度を平均することにより、過去の温度履歴を考慮する式(2)を提案し、その有効性を10月および12月の測定結果を用いて評価した。

なお、式(2)ではTable 2に示した実測日変動幅の理論日変動幅に対する割合を補正係数 C として拘束度の代わりに用いている。

$$\Delta w_e = -\alpha \cdot \Delta T_h \cdot L \cdot C \quad (2)$$

ここに、 Δw_e ：ひび割れ幅の推定変動量 (mm)、 ΔT_h ：温度履歴を考慮した躯体表面温度の変化量 ($^{\circ}\text{C}$)、 C ：補正係数である。

温度履歴を考慮した履歴推定日変動量および温度履歴を考慮しない無履歴推定日変動量を実測日変動量と併せてFig.4に示す。なお、履歴推定日変動量は、Fig.2に示したように変動量の上ピークと躯体表面温度の下ピークの時間差、あるいは変動量の下ピークと躯体表面温度の上ピークの時間差が最大で5時間程度であったことから、変動量に影響を与える過去の躯体表面温度を最大で5時間前までと想定し、測定開始後5時間以降で算出した。また、最適な履歴推定日変動量は実測日変動量との誤差2乗和が最小になるものとした。

Fig.4に示すように、履歴推定日変動量は無履歴推定日変動量よりも実測日変動量を良く近似しており、式(2)によってひび割れ幅の日変動をある程度推定することが可能と考えられる。最適な履歴推定日変動量を示した際に考慮した過去の温度履歴の範囲(以下、最適温度履歴と呼ぶ。)はTable 3に示すとおりであり、2~4時間程度以前までの温度履歴を考慮した時に最も実測日変動量に近い挙動を示した。しかし、Fig.4におけるCase2の調査およびCase3の北面における調査結果を見ると、無履歴推定日変動量も実測日変動量とさほどかけ離れておらず、式(2)の際立った有効性を確認することはできない。これは、温度変化が全体的に小さく、温度履歴を考慮する必要性が低かったためと考えられる。一方、Case3の南面における結果を見ると、無履歴推定日変動量が実測日変動量を大きく外れているのに対し、履歴推定日変動量は実測日変動量に近い挙動を示している。これは、調査期間内に生じた大きな温度変化による影響を、履歴推定日変動量では考慮できたためと考えられる。これより、Table 3に示した最適温度履歴は、Case2における南北面

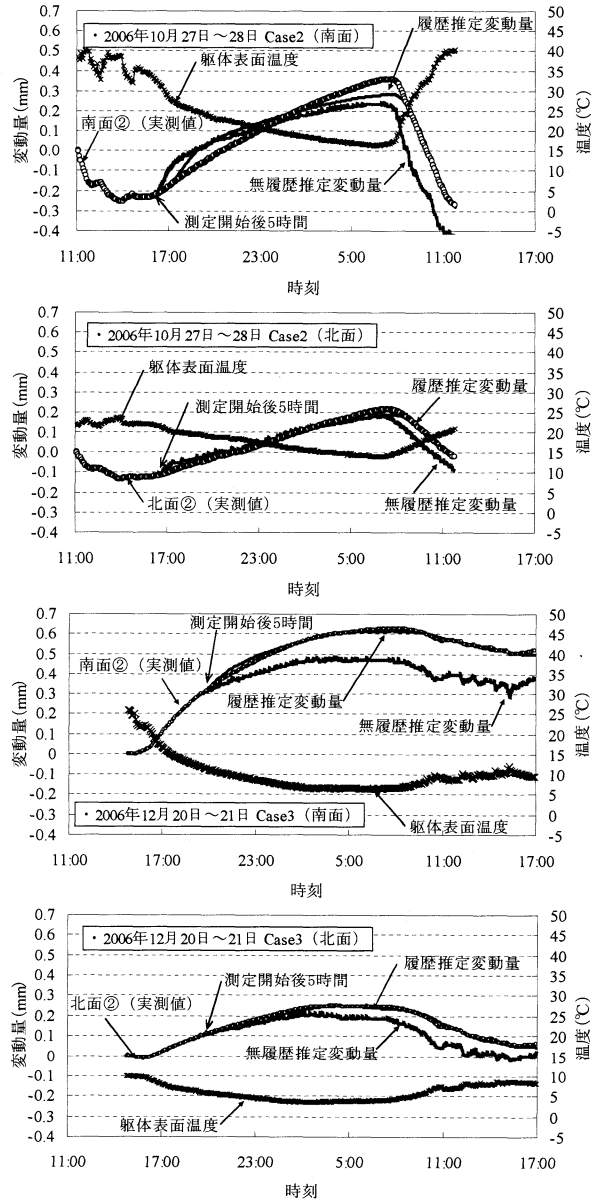


Fig.4 実測変動量および推定変動量
Actual measurement and estimated value

Table 3 最適温度履歴
Optimum temperature history

		最適温度履歴 (h)	
10/27~10/28	南面②	ひび割れ	2:15
(Case2)	北面②		2:05
12/20~12/21	南面②	ひび割れ	4:15
(Case3)	北面②		3:15

の値およびCase3の北面における値よりも、温度履歴を考慮することによって実測日変動量を精度良く推定することができたCase3の南面における値の方が信頼性が高いと考えられる。ただし、最適温度履歴は水路躯体の相対的な熱伝導のしやすさによって変化すると考えられるため、他水路においてひび割れ幅の変動を推定する際には、相対的な熱伝導に影響を与える因子(水路躯体厚、背面の状況など)について十分に考慮した上で設定する必要がある。

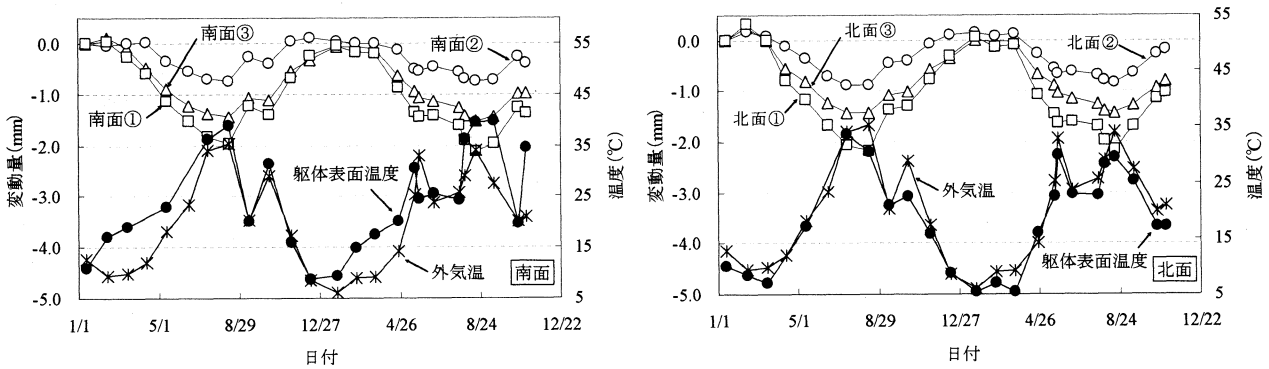


Fig.5 ひび割れ幅の年変動および温度変化
Yearly crack width fluctuations and temperature change

Table 4 年変動量調査結果
Result of one year investigation

		実測 年変動幅 (mm)	影響 躯体長 (m)	単位影響躯体長 あたり年変動幅 (mm/m)	対応 温度差 ^[1] (°C)	理論 年変動幅 ^[2] (mm)	実測年変動幅 理論年変動幅
南面	南面① 目地	2.161	16.385	0.132	24.6	4.031	0.54
	南面② ひび割れ	0.853	13.935	0.061	28.0	3.902	0.22
	南面③ 目地	1.630	5.700	0.286	25.9	1.476	1.10
北面	北面① 目地	2.485	15.980	0.156	25.9	4.139	0.60
	北面② ひび割れ	1.054	13.665	0.077	24.6	3.362	0.31
	北面③ 目地	1.689	5.225	0.323	25.9	1.353	1.25

[1] 対応温度差: 変動量の上ピークおよび下ピークを示した時刻に対応した外気温の差

[2] 水路躯体の線膨張係数を $10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ と仮定し, (線膨張係数) \times (影響躯体長) \times (対応温度差) より算出

3.2 年変動量調査

年変動量調査結果を Fig.5 に示す。外気温と躯体表面温度は調査期間を通して上昇・下降を繰り返しており、季節に応じた温度変化を示している。また、各測定箇所の年変動量は、日変動量調査と同様に温度条件と明確な規則性を有しており、季節変化に伴って周期的に変動している。しかし、躯体表面温度が Fig.2 と同様に南面と北面で大きく異なっているのに対し、各測定点の南北間における変動量に明確な相違は見られない。これは、年変動量調査の実施時間が、躯体表面温度の南北較差が大きくなる日中以前（午前10時頃）であったことに加え、調査期間内の季節変化に起因した温度条件の変化の影響を強く受けたためだと考えられる。

躯体表面温度と変動量が明確な規則性を示した日変動量調査は、調査期間が2日間と短期的なものであり、季節変化による温度変化の影響はほとんどない。そのため、外気温の日較差はさほど小さくなく（10~12°C程度）、太陽光の輻射による温度上昇が卓越したことから、南面と北面の水路躯体間で日変動量の大きな相違が生じていた。一方、年変動量調査は日変動量調査と比較して長期的なものであり、調査期間内に季節変化を伴うことから外気温の年較差が非常に大きい（29.3°C）。調査面である水路壁内面近傍以外の水路躯体では、日射による温度上昇の影響を受けにくいことから、その温度は外気温あるいはそれに伴う背面土の温度に対応した値になると推察される。すなわち、年変動量調査では太陽光の輻射による影響よりも季節変化に伴う外気温の変化による影響が卓越したため、躯体表面温度が異なっているにもかかわらず南面と北面の

水路躯体間で年変動量の相違が少なかったと考えられる。

ここで、ひび割れ幅および目地幅の年変動に与える影響が大きいと推察された外気温を用いて、理論年変動幅を Table 4 に示すように算出した。実測年変動幅の理論年変動幅に対する割合を比較すると、目地部よりもひび割れ部で拘束の度合いが強くなっており（0.23, 0.32）、日変動量調査と同様の傾向を確認することができる。一方、目地部である南面①、北面①、南面③、北面③の実測年変動幅の割合は0.47, 0.60, 1.05, 1.25であり、南面③および北面③と比較して南面①および北面①では明らかに強い拘束が存在することを示している。この理由として考えられるのは、南面①および北面①が収縮目地であり、鉄筋の拘束が存在すること、あるいは影響躯体長が長いことに起因した地盤との摩擦の増大が考えられる。また、南面③および北面③において実測年変動幅が理論年変動幅よりも大きく変動したのは、ひび割れ部と目地部で拘束の度合いが大きく異なることを考慮すると、ひび割れ部の強い拘束により伸縮変動が目地側に寄せられたためと考えられる。

3.3 ひび割れ幅の変動割合

補修材料がひび割れ幅の変動によって破断しないためには、ひび割れ幅の変動割合以上の伸び性能を補修材料に付与する必要がある。ひび割れ幅の変動量とその変動特性については既に明らかにしたことから、ここではひび割れ幅の測定結果からひび割れ幅の変動割合を求めた。

2006年12月21日におけるひび割れ幅は、南面②で2.211mm（測定時刻：12時34分）、北面②で2.518mm（測

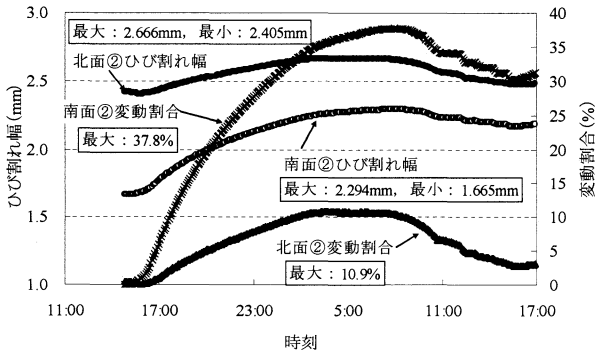


Fig.6 ひび割れ幅の日変動および日変動割合
Daily crack width fluctuations and fluctuation ratios

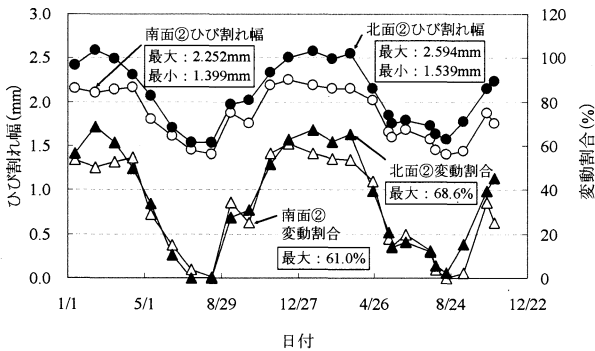


Fig.7 ひび割れ幅の年変動および年変動割合
Yearly crack width fluctuations and fluctuation ratios

定時刻：12時48分)であった。ここで、日変動量調査Case3の結果と測定したひび割れ幅を組み合わせ、ひび割れ幅の1日における挙動を求めた。ひび割れ幅の日変動をFig.6に示す。Case3の調査期間内におけるひび割れ幅の変動は、南面②で1.665mm～2.294mm、北面②で2.405mm～2.666mmの範囲で生じており、最も幅が狭くなったときのひび割れ幅に対する変動割合は、南面②で最大37.8%、北面②で最大10.9%であった。したがって、補修材料が37.8%以上の伸び性能を持たない場合、短期的なひび割れ幅の日変動によって施工後即座に割れが生じる可能性がある。

次に、ひび割れ幅の年変動をFig.7に示す。年間を通したひび割れ幅の変動範囲は、南面②で1.399mm～2.252mm、北面②で1.539mm～2.594mmであり、変動割合は南面②で最大61.0%、北面②で最大68.6%であった。この値はひび割れ幅の日変動による変動割合よりも大きく、補修材料はより高い伸び性能が要求されることとなる。

以上の結果より、今回調査を実施した水路のひび割れ部では最大で68.6%以上の伸び性能が要求されることが明らかとなった。しかし、ひび割れ幅の日変動および年変動は双方とも一過性では無く、供用期間の経過の中で数多く繰り返されるものである。特に、日変動による変動は日々の温度変化に起因するため、年変動と比較して非常に多頻度で補修材料に引張作用を与える。したがって、農業用水路に適用される補修材料は、ひび割れ幅の

変動によって破断しない伸び性能とともに、繰り返しの引張作用にも抵抗できる十分な疲労強度が要求される。

4. まとめ

本研究では、農業用水路に対するひび割れ幅の日変動量調査および年変動量調査を実施し、ひび割れ幅の変動特性から補修材料の要求性能を明らかにした。得られた知見を以下に示す。

- (1) 長く薄いコンクリート板から構成された農業用水路では、ひび割れ幅および目地幅が日々の短期的な温度変化によっても変動する。
- (2) ひび割れ幅および目地幅の日変動は、躯体表面温度の変化と明確な規則性を有する。
- (3) 調査対象としたひび割れ幅の日変動幅は0.175mm～0.629mmと非常に大きいことから、機能診断を行う際にはその日変動を考慮する必要がある。
- (4) ひび割れ幅の変動は躯体表面温度の変化に即座に反応せず、その前までの温度履歴の影響を受ける。
- (5) 本論文で提案したひび割れ幅の変動推定式を用いることで、ひび割れ幅の変動をある程度推定することができる。
- (6) ひび割れ幅および目地幅の年変動は、躯体表面温度よりも外気温の季節変化による影響を強く受ける。
- (7) 調査対象としたひび割れでは、最も幅の狭くなったときのひび割れ幅に対する変動割合は、日変動量調査で最大37.8%、年変動量調査で最大68.6%であり、ひび割れ幅の変動に起因した補修材料の割れを防ぐための要求伸び性能が明らかになった。

謝辞：本研究の遂行にあたり、多大なるご協力を頂いた島根大学施設機能工学研究室専攻生の蜂谷稔治氏、荒木直子氏、陳星氏、原武氏に深く感謝を致します。また、論文を執筆するにあたり、様々な助言を頂いた鳥取大学の緒方英彦准教授に深謝の意を表します。

引用文献

石井将幸, 佐藤周之, 緒方英彦, 野中資博 (2007) : 現場打ちRC開水路におけるひび割れ幅と鉄筋腐食の関係, 農土論集, 247, 73-82.
 コンクリート補修・補強マニュアル編集委員会 (2003) : コンクリート補修・補強マニュアル, 78-96.
 土木学会 (2002) : 2002年制定コンクリート標準示方書[施工編], 41-44.
 日本コンクリート工学協会 : マスコンクリートのひび割れ制御指針, 60-61.

[2007. 7. 25.受稿, 2008. 2. 25.閲覧了]
 (この研究論文に対する公開の質疑あるいは討議(4,000字以内, 農業農村工学会論文編集委員会あて)は, 2008年10月24日まで受け付けます。)

Required Expansion Performance of Repair Material for Crack in Concrete Canal

UENO Kazuhiro *, NATSUKA Isamu **, NONAKA Tsuguhiro ** and ISHII Masayuki **

**The United Graduate School of Agricultural Science, Tottori University,
4-101 Koyama-Minami, Tottori, Tottori, 680-8553, JAPAN*

*** Faculty of Life and Environmental Science, Shimane University,
1060 Nishikawatsu, Matsue, Shimane, 690-8504, JAPAN*

Abstract

The crack width fluctuations in an irrigation canal are investigated to clarify the required expansion performance of repair materials. It was observed that the width of cracks in long and thin concrete walls fluctuated daily by short-term temperature change. It was shown that the daily fluctuation ratio was about 37.8% and yearly fluctuation ratio was 68.6%. Therefore the daily and yearly fluctuations in crack width must be considered in evaluation, diagnosis and repair for influences of cracks to the structure. An estimating equation for daily crack width fluctuation that took the temperature history into consideration was proposed and evaluated.

Key words: *Crack width, Crack repair, Irrigation canal, Surface temperature, Temperature history*

(研究論文)

コンクリート水路のひび割れ補修材料に必要な伸び性能

上野 和広・長束 勇・野中 資博・石井 将幸

コンクリート水路に発生したひび割れの補修材料に要求される伸び性能を明らかにするため、ひび割れ幅の日変動量および年変動量調査を実施した。その結果、長く薄いコンクリート版から構成される水路では、短期的な温度変化によりひび割れ幅が大きく変動することが確認され、施設機能評価・診断、補修の際にその変動を考慮することの必要性が明らかとなった。また、温度履歴を考慮することでひび割れ幅の変動を推定する式を提案し、その妥当性を評価した。さらに、最も狭いときのひび割れ幅に対するひび割れ幅の変動割合を算出すると、日変化で最大約37.8%、年変化で最大約68.6%であり、補修材料に要求される伸び性能が明らかになった。

キーワード ひび割れ幅、ひび割れ補修、農業用水路、躯体表面温度、温度履歴

(農業農村工学会論文集 254, 59～66)

(研究論文)

環境配慮型用水路の魚介類生息および通水機能への影響評価

堀野 治彦・中桐 貴生・荻野 芳彦

土地改良法の改正に伴い、環境との調和に配慮した農業用水路整備事業が展開しつつあるが、施工実績はまだ少なくその効果を検証した例は限られている。そこで、国営事業としては先駆的な滋賀県木之本町黒田集落付近の環境配慮型用水路を対象に、同水路の魚介類生息状況および通水機能を検証した。その結果、環境配慮型水路は少なくともベンチフリュームのようなコンクリート3面張り水路よりは、魚介類の多様化や個体数の確保に寄与していることが確認された。しかし一方で、予見されるように、漏水量や粗度係数の増加など通水面での問題もみられることが定量的に示された。

キーワード 環境配慮型水路、魚介類、多様性指数、個体数、粗度係数、漏水

(農業農村工学会論文集 254, 77～83)

(研究論文)

生物膜法を活用した農業集落排水施設におけるBOD除去性能の評価とその課題

中野 拓治

生物膜法の農業集落排水施設におけるBOD除去性能の評価とその課題について、供用中の施設から得られた観測データ等に基づき検討した。生物膜法の農業集落排水施設では所要のBOD除去性能を発揮している一方、沈殿槽流出水BODは沈殿槽流出水と希釈検水中の窒素化合物による硝化反応の影響を受けて高い値を示していることが確認された。また、処理水の採取箇所を沈殿槽流出部から消毒槽・放流ポンプ槽流出部に変更することは、処理水のBOD測定値をC-BOD(有機物質の酸化にかかわるBOD)に近づけるための有効な手段であり、生物膜法の農業集落排水施設においてもBOD本来の目的である有機物の汚濁指標として適正に評価できるような対応策を講ずることの必要性が示唆された。

キーワード 農業集落排水施設、生物膜法、BOD測定法、ATU-BOD、N-BOD

(農業農村工学会論文集 254, 97～104)

(研究論文)

矢板引抜きに伴う地盤と地中構造物の相互作用に関する研究

—不連続な地盤面の接触を考慮した弾塑性有限要素解析—

松島 健一・田中 忠次・毛利 栄征

地盤内に設置された矢板を引き抜く際、地盤に生じた空隙が土圧の再配分を引き起こし、地中構造物に大きな影響を及ぼす。本研究では、矢板引抜きに伴う地盤と地中構造物の相互作用メカニズムを解明するため、矢板引抜き現象を考慮した数値解析モデルを開発した。地盤中の応力解放は要素掘削手法を適用し、空隙両側の不連続な地盤面の接触は、ピンボールアルゴリズムを採用した。本手法は、パイプラインを対象とした矢板引抜き模型実験における埋設管のたわみや地表面沈下などの挙動を定性的に予測できることが分かった。また、地盤中のひずみや土圧分布の変化などから埋設管のたわみの発生メカニズムを明らかにすることができた。

キーワード 有限要素法、矢板引抜き、地盤接触、相互作用、応力解放

(農業農村工学会論文集 254, 67～76)

(研究論文)

メタン発酵消化液の施用による土壌から大気への温室効果ガス発生量の変化

藤川 智紀・中村 真人・柚山 義人

メタン発酵消化液(消化液)の農地還元による土壌から大気への温室効果ガスの発生量の変化を明らかにすることを目的に裸地圃場において消化液施用試験を行った。消化液の施用後、亜酸化窒素の発生量は急激に増加し20日前後でピークを示すこと、二酸化炭素発生量の増加は50日以上続くことが明らかになった。また施用後の52日間で消化液中の窒素の0.17%が亜酸化窒素として、炭素の22%が二酸化炭素として発生したと推測された。表層土中のガス移動量と地表からのガス発生量を比較した結果、発生した亜酸化窒素のうち1/3が表層0～2.5cmで生成されたこと、二酸化炭素は大部分がより深い層から移動してきたことが示唆された。

キーワード メタン発酵、消化液、ガスフラックス、地球温暖化、ガス拡散、微生物活性、農地施用

(農業農村工学会論文集 254, 85～95)

(研究論文)

土中排水法による浮遊土砂の流出防止に関する研究

吉永 安俊・酒井 一人・仲村 将・仲村 元・藤田 智康

畑地における浮遊土砂の流出防止対策として土中排水法を考案し、その効果の検証と実用化の可能性を検討した。土中排水法とは地表水を浸透帯により地下に埋設した吸水管に導き排水する方法である。土中排水法は、実験初期においては高い浸透機能とろ過機能が認められ、地表排水量を抑制し、浮遊土砂濃度を著しく低下させた。しかし、浸透帯の表層クラストの形成により、土中排水法の浮遊土砂流出防止効果は低下した。耕うんによるクラストの破壊で、その効果は回復するが、十分ではない。土中排水法の実用化においては浸透帯の表層クラストの形成抑制や浸透強度の回復が解決すべき問題点であることが明らかになった。

キーワード 赤土流出、土中排水、浮遊土砂濃度、国頭マージ、ろ過

(農業農村工学会論文集 254, 105～111)