

資料 第91号

北海道における海岸コンクリート構
造物の凍害による表面剥離について

昭和56年4月

北海道土木技術会

コンクリート研究委員会

目 次

まえがき	1
1. 調査の目的	2
2. 調査の範囲	2
3. 調査の項目と方法	2
3. 1 調査項目	
(1) コンクリートの材料、施工に関する調査	
(2) 剥離状況調査	
(3) 気象資料調査	
3. 2 剥離状況調査の方法	
(1) 剥離の概況調査	
(2) 剥離面積と剥離深さの測定	
(3) 反撲硬度による圧縮強度測定	
4. 剥離の表示方法	4
5. 海岸コンクリート構造物の実態の概況	11
(1) セメント	
(2) 混和剤	
(3) 水セメント比	
(4) 型枠	
(5) 打込方法	
(6) 脱型日数	
(7) 養生方法	
6. 剥離状況	13
(1) 消波ブロックの剥離	
(2) 防波堤および岸壁の剥離	
(3) 擁壁および覆道の剥離	
7. 剥離発生の要因	39
(1) 粗骨材の品質	
(2) 単位セメント量	
(3) セメント水比	
(4) 圧縮強度	

まえがき

(5) 打設後14日間の平均気温	1
(6) 打設後14日間の平均湿度	1
(7) 汀線からの距離	1
(8) 凍結融解回数	1
8. まとめ	54
9. 参考資料	56
あとがき	59

北海道のような積雪寒冷地のコンクリート構造物は、冬期間に凍結融解の繰返し作用を受けるので耐久性のすぐれたものであることが要求される。現在用いられているコンクリートはA-Eコンクリートが主体であり、製造は設備の整ったレディミクストコンクリート工場で行われており、均等質ものが容易に得られるなど、耐久性のすぐれたコンクリートを造るうえで好ましい状況になっている。事実、A-E剤を含まないプレーンコンクリートを用いていた時代に比べると、コンクリートの品質、特に耐久性の向上は著しく、コンクリートの凍害の事例は激減しているといってよい。しかしながら北海道の海岸、港湾のコンクリート構造物では、コンクリート表面のモルタルが剥離して粗骨材が露出するという現象が非常に多く見られる。この現象は次のような特徴がある。

- (1) 粗骨材表面のモルタル部が1ないし数センチの径で剥離する形式のものが最も多いが、それが更に広範囲に拡って、全体的に剥離する場合もある。いずれの場合も剥離厚さは数ミリ程度である。
- (2) 剥離は、コンクリートが一冬経過した時点ですでに発生している。融雪直後に発見されることが多い。
- (3) 北海道以外では、このような剥離は報告されていない。また、国外でも同様である。

剥離を起こさせる直接の原因は、凍結融解作用と考えられるが、剥離がなぜ北海道で顕著に見られるのか、また、同じような環境条件にあるコンクリートでも剥離を受けるものも、健全なものもあるのはなぜかなど不明な点も多く、原因の究明が望まれる。このような状況のもとで、剥離の状況を把握し、剥離の防止対策を確立することは、寒冷地において耐久的なコンクリートを造るために有意義なことである。北海道士木技術会コンクリート研究委員会は昭和53年に海岸コンクリート構造物の凍害調査小委員会を設け、この問題について全道的な調査を行った。この報告書はその結果をまとめたものである。

1 調査の目的

調査は北海道内の海岸、港湾コンクリート構造物の凍害、特に表面剥離の現況を把握することを主眼とし、合わせてその原因究明のために、コンクリートの材料、配合、強度、施工および気象の資料を収集することにした。

2 調査の範囲

調査の対象は施工後一冬経過した海岸、港湾のコンクリート構造物とした。調査個所の選定にあたっては、北海道開発局、北海道土木部および国鉄に、昭和58年度に施工した海岸、港湾のコンクリート工事個所とその概要についての資料の提出を依頼した。その中から現地調査が可能で、かつ施工時の状況が現場の工事担当者から聴取できるような個所を選んだ。調査個所数は合計で194、構造物別の内訳は、消波ブロック65、防波堤・岸壁（胸壁の25個所を含む）80、擁壁・覆道49である。

3 調査の項目と方法

3.1 調查項目

(1) コンクリートの材料、施工に関する調査

骨材の品質、コンクリートの配合、28日圧縮強度、打込方法、養生方法などの記録を収集した。

(2) 剥離狀況調查

1回目は昭和54年7月から8月にかけて、施工後一冬経過した後の剥離状況を調査した。この時、シュミットハンマーによる反撃硬度試験も行った。2回目は1回目の調査と同一箇所で、施工後二冬経過した時の状況を調べるために、昭和55年8月に実施した。ただし、釧路、網走、稚内、留萌地域（これらの地域の名称は各々北海道開発局、北海道土木部の管理区分を表わす、以下同じである）は残雪のため調査が不可能であった。

(3) 氣象資料調查

打込みから養生期間中、およびその後の気象資料を収集した。また、凍結融解の回数を推定するため冬期間の気温も調べた。

3. 2 剥離状況調査の方法

剝離状況をより能率的に、精度よく調査するために二つの段階によって観察、測定を行った。一つは目視の判定による剝離の概況調査、もう一つは、その判定に基づいて選定した個所の剝離の深さおよびその面積の測定である。これによって剝離調査に客觀性をもたらせた。

(1) 剝離の概況調査

この概況調査は、対象とする構造物の全数量について目視により剝離を観察し、剝離程度を判定する。擁壁、防波堤など（岸壁、胸壁を含む）の場合には、1打設ブロック（通常は長さ5～10m程度）を1単位として、構造物の上面（型枠に接しない面）と側面（型枠に接する面）とに分けて剝離を調査し、次の方法で各打設ブロックごとの剝離程度を評価し、判定した。すなわち、剝離面積と剝離深さをその程度によって表-1のようにそれぞれ5段階に分け、両者の段階数を乗じて得た数値で剝離程度を表わし、各打設ブロックごとにこれを記録した。

表-1 効率程度の段階

剝離面積程度	0	1	2	3	4
剝離面積率(%)	0	25未満	25~50未満	50~75未満	75~100

剝離深さ 程度	0	1	2	3	4
剝離深さ (mm)	0	5未満	5~10未満	10~15未満	15以上

剝離面積率を算出する場合、対象とする面積や位置によって剝離程度が異なるので、当該の1打設ブロックの中で、剝離が最大と思われる $50 \times 50\text{cm}$ 程度の面積を対象として剝離程度を求めるとした。消波ブロックの場合には擁壁、防波堤などの場合と同様に剝離程度に応じて分類し、全休の個数中にそれが何パーセントあるかを目視により観察した。

(2) 削離面積と削離深さの測定

前項の概況調査により剝離程度に応じて、剝離の最大、中程度、軽程度および剝離無しを選定し、各々の剝離面積と剝離深さを実測した。測定個所は、(1)の概況調査で対象とした部分と同じで、面積 $5.0 \times 5.0\text{cm}$ の枠内とした。剝離面と健全な面との境はマジックインクで形どり、写真撮影をしてその写真から剝離面積を測定した。剝離深さはダイヤルゲージ式のデプスゲージにより、 $5.0 \times 5.0\text{cm}$ の測定面積中の約1.0点を測定した。

(3) 反撲硬度による圧縮強度測定

(2)の測定箇所でショットハンマーによる反撃硬度試験を行い、圧縮強度を算定した。

4 剥離の表示方法

剝離を表わす尺度として、3.(2)で述べたように、一つの調査個所において最大の剝離程度を発生している個所の剝離深さを用いたもの：最大剝離深さ（H_{max}）、最大の剝離程度の個所の剝離深さと剝離面積の積を基準としたもの：最大剝離程度（D_{max}）、一つの調査個所における全体の平均的な剝離度を基準としたもの：平均剝離度（D_m）の三つを用いた。

ここで剝離度 (D) は次式のように定義した。

最大剝離深さ (H_{max}) は一つの調査個所において最大剝離程度と選定された部分 ($50 \times 50\text{cm}$) の剝離深さ (H) を 10 個所程度 (N) 測定して、平均値として求めた。

$$H_{\max} = \frac{\Sigma H}{N} \text{ (mm)} \quad \dots \dots \dots \quad (3)$$

同様に、中、軽程度の剥離個所についても剥離深さが(3)式によって求められる。

最大剝離度 (D_{max}) は最大剝離程度と選定された部分の剝離面積の総和を $A_{max} (cm^2)$ を用いて

$$D_{max} = \frac{H_{max} \cdot A_{max}}{50 \times 50} \text{ (mm)} \quad \dots \dots \dots \quad (4)$$

より求めた。

同様に、中、軽程度の剝離個所についても剝離度 (D_0 および D_a) が(2)式によって求められる。

平均剝離度 (D_m) は、一つの調査個所において最大、中および軽程度の剝離度を各々 D_{max} 、 D_2 および D_3 とし、その各々の分布割合（各打設ブロックごとに、同一剝離程度と判定される打設ブロックの個数を合計し、総打設ブロック数で除したもの）を P_{max} 、 P_2 および P_3 とし

より求めた。ただし、消波ブロックの場合の分布割合は目測によった。

H_{max} 、 D_{max} によって局部的な剥離程度、 D_m によって構造物全体の平均的な剥離程度を把握することができる。

施工後一冬経過の調査に続いて、二冬経過後における剥離進行の追跡調査を行ったので、上述の剥離指標に加えて、剥離進行の尺度として、一冬経過後の剥離に対する二冬経過後の剥離の比を用いた。最大剥離深さについては \bar{H}_{max} 、最大剥離度に対しては \bar{D}_{max} 、平均剥離度には \bar{D}_m の記号を用いた。これらの尺度はコンクリートの長期的な耐久性を調べるために貴重な資料となる。また、剥離度の数値と実状の対応を見るために代表的な写真（写真1～写真1-2）を載せた。

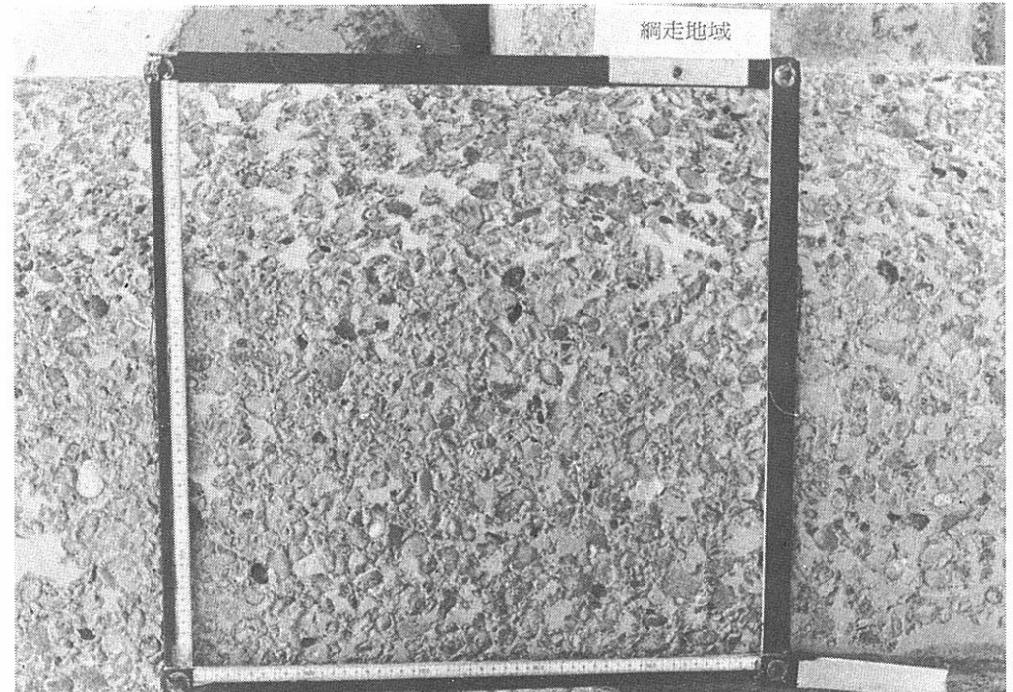


写真1 消波ブロック (D = 3.72 mm)



写真2 消波ブロック（D=2.10mm）

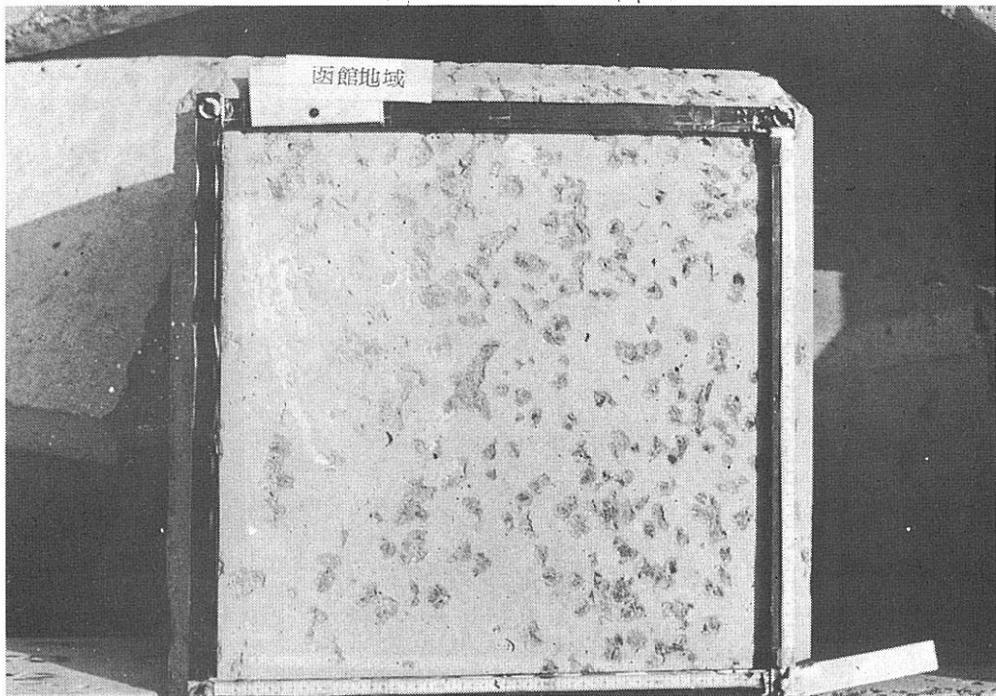


写真3 消波ブロック (D = 1.16mm)



写真5 防波堤 (胸壁側面、D = 2.64mm)

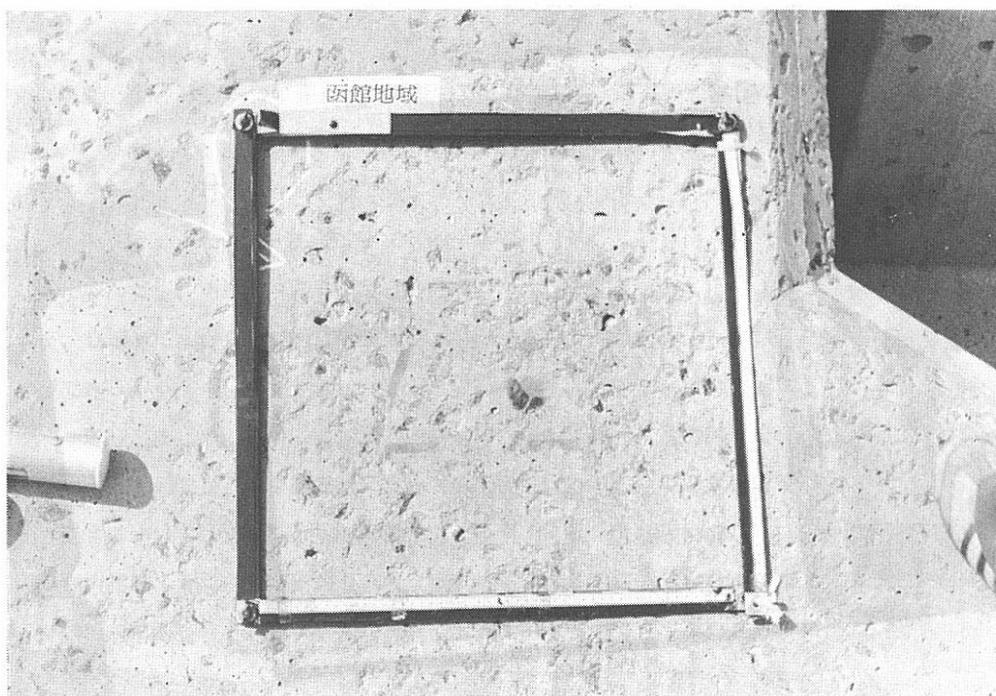


写真4 消波ブロック (D = 0.65mm)

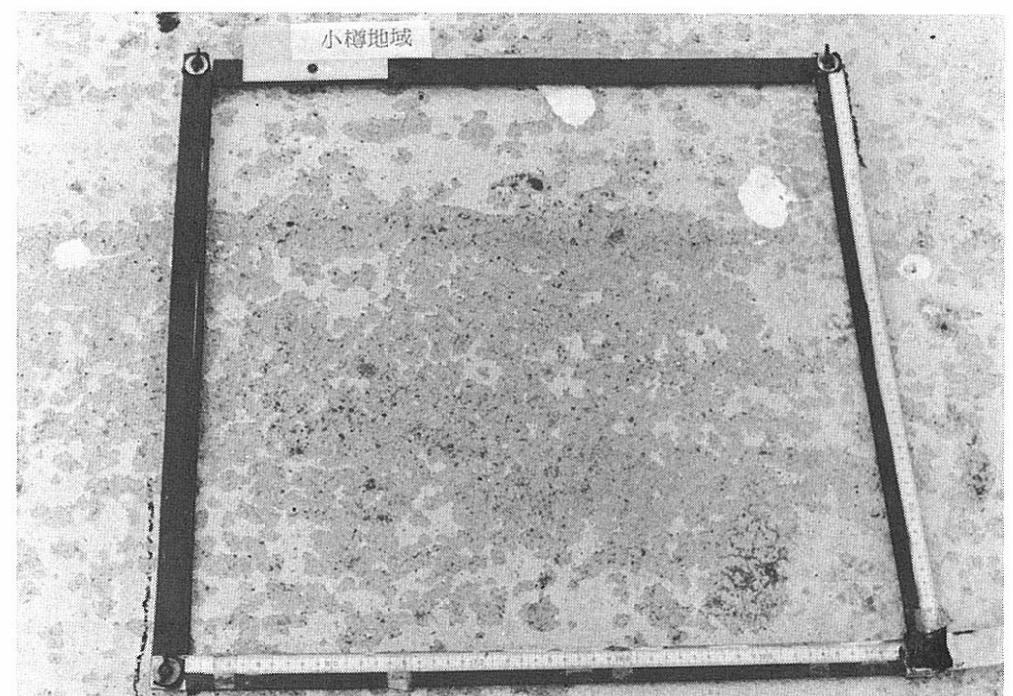


写真6 防波堤 (上面、D = 1.92mm)



写真7 防波堤（上面、D = 0.68mm）

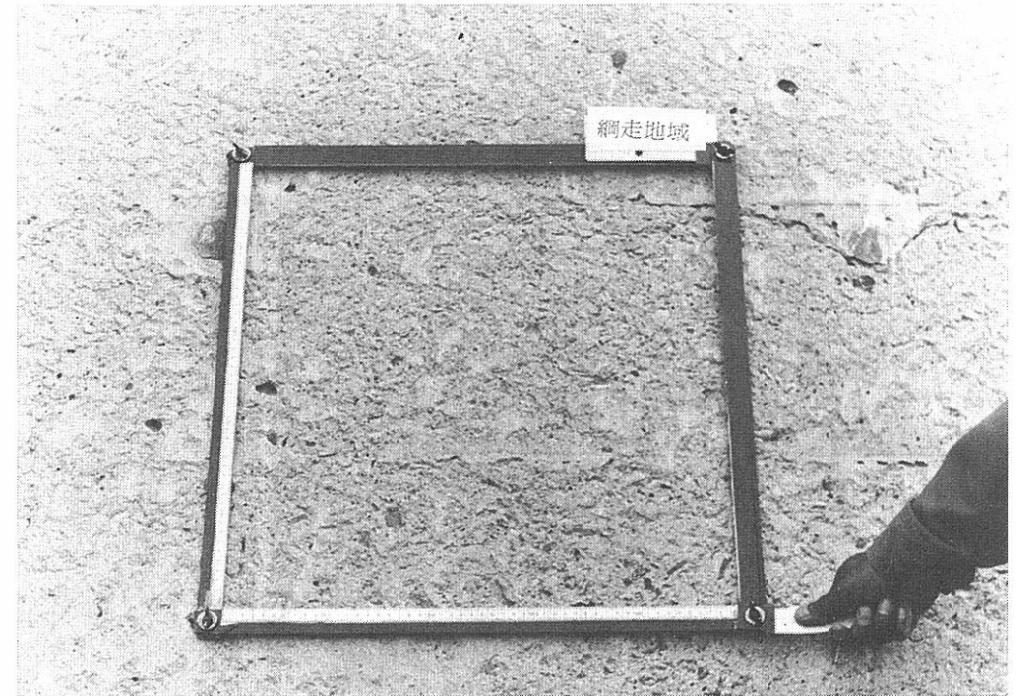


写真9 擁壁（側面、D = 3.75mm）

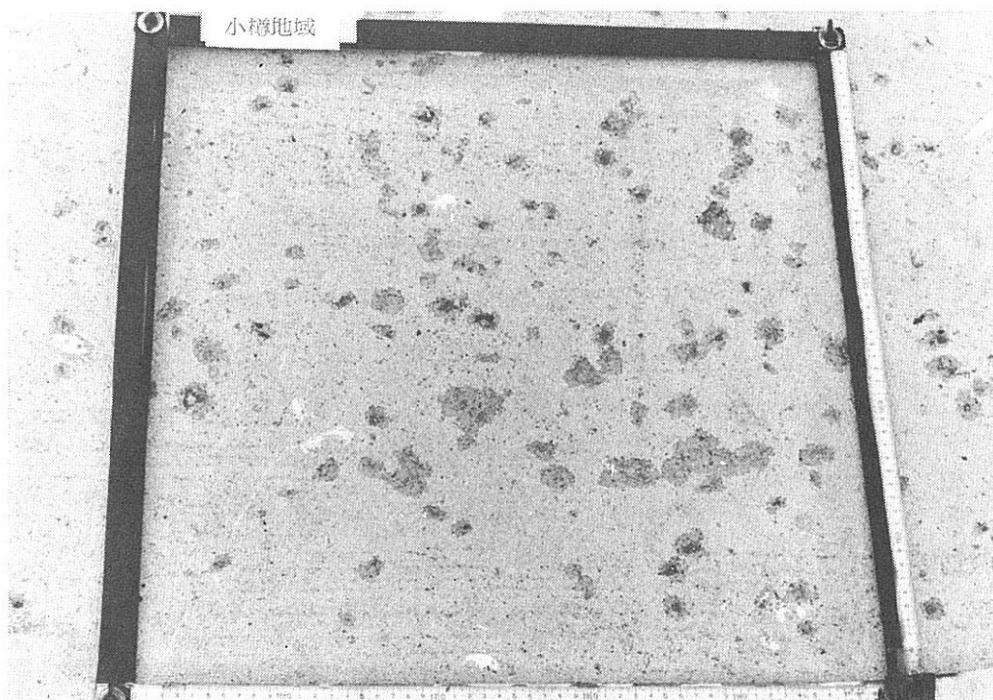


写真8 防波堤（上面、D = 0.20mm）

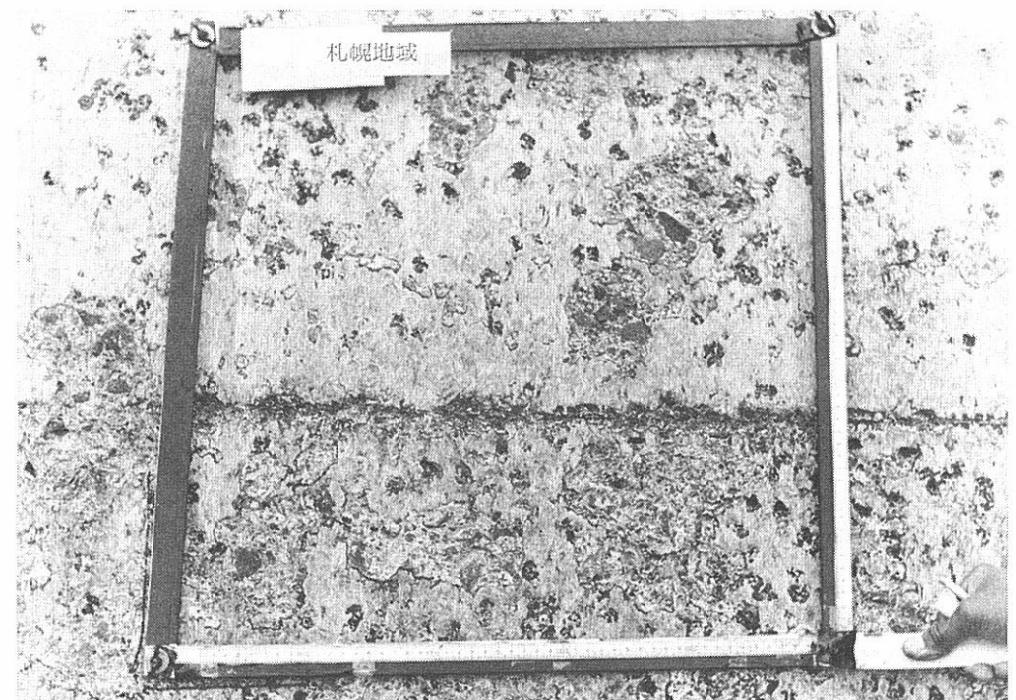


写真10 擁壁（側面、D = 1.73mm）



写真1 1 擁 壁 (側面、D = 1.02mm)

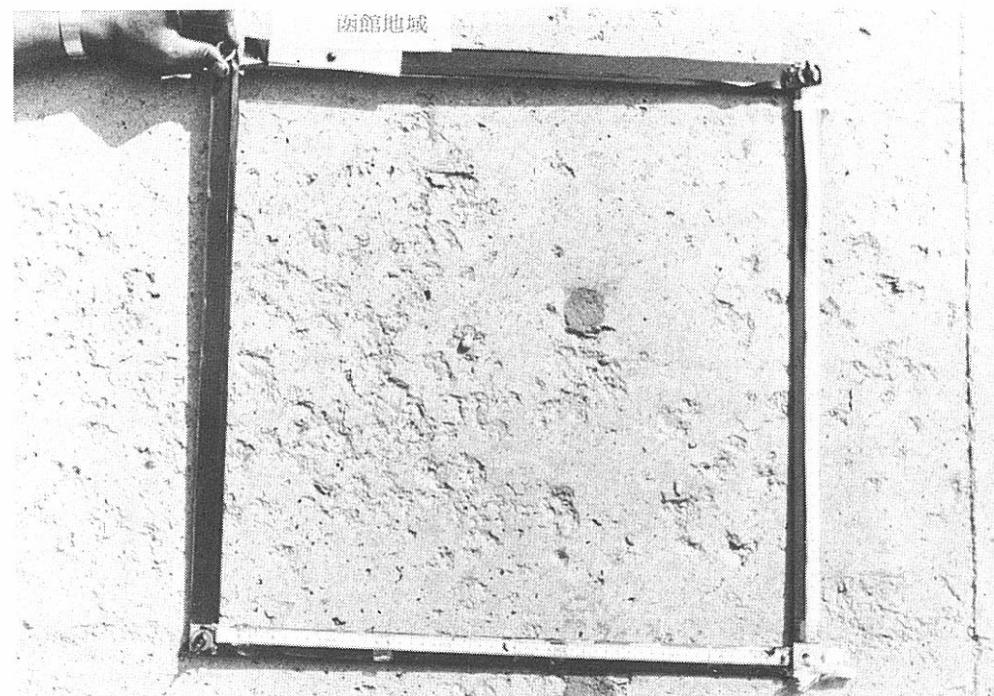


写真1 2 擁 壁 (側面、D = 0.60mm)

5 海岸コンクリート構造物の実態の概況

海岸コンクリートを構造別に消波ブロック、防波堤・岸壁および擁壁・覆道に分類して、セメント、混合剤、水セメント比、型枠、打込方法、脱型日数および養生方法について、資料および現地調査によって実態調査を行った。

(1) セメント

表-2(a)に示すように、使用セメントの種類は消波ブロックでは普通セメントが5%、混合セメントが9.8%、その他は早強セメントであった。防波堤・岸壁では普通セメントが10%、他は混合セメントであった。擁壁・覆道では7%が普通セメントで他は混合セメントであった。全体から見て高炉セメントB種に比較してフライアッシュセメントB種の使用率が高い。

(2) 混和剤

A E剤としては、ビンソルなどが多く、A E減水剤としてはポゾリス、リグナール、プラスチックリート、チューポールなどが使用されていた。表-2(b)に示すように、構造別に関係なく、ほぼ7.0~8.5%がA E剤を使用し、その他はA E減水剤を使用している。

表-2 セメント、混合剤および水セメント比の概況

	種類	消波ブロック	防波堤・岸壁	擁壁・覆道	平均値
(a)セメント	N	4.9%	9.9%	6.8%	7.2%
	F B	5.9.0	5.0.7	4.7.7	5.2.5
	B B	3.4.4	3.9.4	4.5.5	3.9.8
	その他	1.6	0.0	0.0	0.5
(b)混合剤	A E剤	7.7.0	8.5.1	7.1.4	7.7.8
	A E減水剤	2.3.0	1.4.9	2.8.6	2.2.2
(c)水セメント比	以上 %未満 4.5 ~ 4.7.5	1.7.2	2.7	2.1	7.3
	4.7.5 ~ 5.0	3.5.9	9.6	6.3	1.7.3
	5.0 ~ 5.2.5	1.7.2	1.5.1	2.7.1	1.9.8
	5.2.5 ~ 5.5	2.6.6	4.5.2	3.5.4	3.5.7
	5.5 ~ 5.7.5	3.1	1.1.0	1.2.5	8.9
	5.7.5 ~ 6.0	0.0	1.2.3	1.4.6	9.0
	6.0 ~ 6.2.5	0.0	4.1	2.1	2.0

(3) 水セメント比

水セメント比 4.5%～6.2.5% の範囲を 2.5% 間隔で等分して、各々の間隔による分布割合を調べると表-2(c)に示すように、消波ブロックでは 4.5～5.7.5% 未満の範囲に分布し、4.7.5～5.0% 未満が 3.6% で一番多く、次いで 5.2.5～5.5% 未満の 3.7% である。防波堤・岸壁では 4.5～6.2.5% 未満の範囲に分布し、5.2.5～5.5% 未満が 4.5% で一番多く、次いで 5.0～5.2.5% 未満が 1.5% である。擁壁・覆道では 4.5～6.2.5% 未満の範囲に分布し、5.2.5～5.5% 未満が 3.5% で多く、次いで 5.0～5.2.5% 未満が 2.7% である。

(4) 型 枠

木製は合板の場合も含まれている。表-3(a)に示すように、消波ブロックの場合は鋼製が大部分であり、防波堤・岸壁の場合は鋼製、木製が約半々、擁壁・覆道は木製が 8.5% を占めていた。

(5) 打込方法

直接、というのはアジテーターから直接打設するもので、構造別によらず多い。表-3(b)に示すように、消波ブロックの場合は直接が 8.8%、次いでパケットが 1.5% である。防波堤・岸壁では直接が 5.5%、次いでパケットが 3.7%、擁壁・覆道では直接が 4.2%、次いでパケットが 3.5%、ポンプが 2.1% で、他に比較してポンプ施工が多くなっている。その他はベルトコンベヤー等によるものである。

表-3 型枠、打込方法および脱型日数の概況

	種類	消波ブロック	防波堤・岸壁	擁壁・覆道	平均値
(a)型 枠	鋼 製	9.8.3%	4.5.5%	1.4.6%	5.2.8%
	木 製	1.7	5.4.5	8.5.4	4.7.2
(b)打込方法	直 接	8.8.3	5.5.2	4.1.9	6.0.1
	パ ケ ッ ト	1.5.0	3.7.3	3.4.9	2.9.1
	ポン プ	0.0	6.0	2.0.9	9.0
	そ の 他	1.7	1.5	2.8	1.8
(c)脱型日数	3 日 以 内	6.9.1	5.5.9	4.6.8	5.7.1
	4 ～ 5 日	2.5.5	3.0.9	2.9.3	2.8.6
	6 ～ 7 日	3.6	4.4	1.2.2	6.7
	8 日 以 上	1.8	0.0	4.9	2.2
	そ の 他	0.0	8.8	7.8	5.4

(6) 脱型日数

表-3(c)に示すように、消波ブロックでは 3 日以内が 6.9%、防波堤・岸壁では 5.6%、擁壁・覆道では 4.6% で、約半数が 3 日以内で脱型している。5 日以内とすると 8.6% が含まれる。

(7) 養生方法

表-4(a)に示すように、養生法は麻袋・散水による養生が 7.6% 程度で、大多数を占め、次いで散水のみの養生がつづく。消波ブロックの場合は、散水のみが 2.8% で比較的多い。その他は砂による養生、膜養生などである。表-4(b)に示すように、養生日数は 6～7 日が多く、全体の平均値で 3.9%、次いで 8 日以上の 2.1%、3 日以内が 1.9% あり、まだ一部養生が疎かにされている傾向が見られる。表-4(c)に示すように、養生水は消波ブロックの場合、淡水が 7.5%、防波堤・岸壁では海水が 9.5% で大部分であり、擁壁・覆道は海水、淡水が約半々である。

表-4 養生法、養生日数および養生水の概況

	種類	消波ブロック	防波堤・岸壁	擁壁・覆道	平均値
(a)養生法	麻袋・散水	6.6.6%	7.6.0%	8.5.4%	7.6.0%
	散水	2.8.1	8.5	7.3	1.4.6
	寒中・その他	5.3	1.5.5	7.3	9.4
(b)養生日数	3 日 以 内	1.8.2	2.7.5	1.1.9	1.9.2
	4 ～ 5 日	1.8.2	8.7	1.6.7	1.4.5
(b)養生日数	6 ～ 7 日	3.8.2	3.9.2	4.0.5	3.9.3
	8 日 以 上	2.1.8	1.5.9	2.3.8	2.0.5
(c)養生水	寒中・その他	3.6	8.7	7.1	6.5
	海水	2.5.5	9.5.2	5.2.8	5.7.8
	淡水	7.4.5	4.8	4.7.2	4.2.2

6 剥離状況

調査した総個所数 194 個所のうち、剥離が発生していた個所は 134 個所で、剥離発生率は 6.9%（消波ブロックが 8.8%、防波堤・岸壁が 6.9%、擁壁・覆道が 4.5% の剥離発生率）である。剥離の程度は大小様々であるが、剥離の種類は一般に言われている表面剥離によるものが大多数を占めている。一部に吸水率の高い粗骨材によるポップアウトが表面剥離と混在していたが、その率は高くはない。

(1) 消波ブロックの剝離

図-6.1～図-6.7に消波ブロックの剝離状況を示した。図-6.1に施工後一冬経過の最大剝離深さ(H_{max})を示した。1.5～4.5mm未満の剝離深さが、調査した消波ブロック全体の約85%で大部分を占め、これ以上の剝離深さは発生していなかった。また地域による差異は認められなかった。調査個所中、剝離が発生していなかったのは約12%であった。図-6.2は施工後二冬経過と一冬経過の最大剝離深さを比較したもので、函館地域では剝離深さの進行はないが、小樽地域で剝離深さの進行が見られた。最大の場合(小樽地域)で3.7mmから7.7mmに進行している剝離もあった。図-6.3に一冬経過後の最大剝離深さに対する二冬経過後の最大剝離深さの比(\bar{H}_{max})を示した。最大剝離深さの進行なしが約48%、新たに発生していたのが約10%、最大剝離深さが進行したのは約42%(2倍未満の進行が28%、2～3倍未満が14%)であった。図-6.4に一冬経過後の最大剝離度(D_{max})を示した。剝離の比較的大きい1.6～3.1mm未満の剝離度が全体会の約3.0%で、ほぼ北海道の全域に一樣に発生していた。0.8～1.6mm未満の中程度のものが約21%を占めていた。0.1～0.8mm未満の剝離の小さいものが約30%あり、函館および小樽地域にはほぼ集中していた。0.1mm未満で剝離度のごく小さいもの、および剝離無しが約19%であった。図-6.5は最大剝離度の一冬経過後と二冬経過後の比較を示したもので、一部函館地域に剝離の進行が見られるが、小樽地域において進行していた個所が多い。図-6.6は最大剝離度の一冬経過後と二冬経過後の比(\bar{D}_{max})を示したもので、最大剝離度の進行なしが約51%、新たな剝離が9%、剝離が進行したのは約40%(2倍未満が9%、2～3倍未満が19%、3～4倍未満が9%、4～5倍未満が8%)であった。図-6.7は一冬経過後の平均剝離度(D_m)を表したもので、剝離は全地域に及んでいて、地域による特徴はあまりなかった。平均剝離度の大きい1.6～3.1mm未満が約12%、0.8～1.6mm未満で19%、0.1～0.8mm未満の剝離の小さいものが32%、0.1mm未満で剝離度がごく小さいもの、および剝離無しが37%を占めていた。

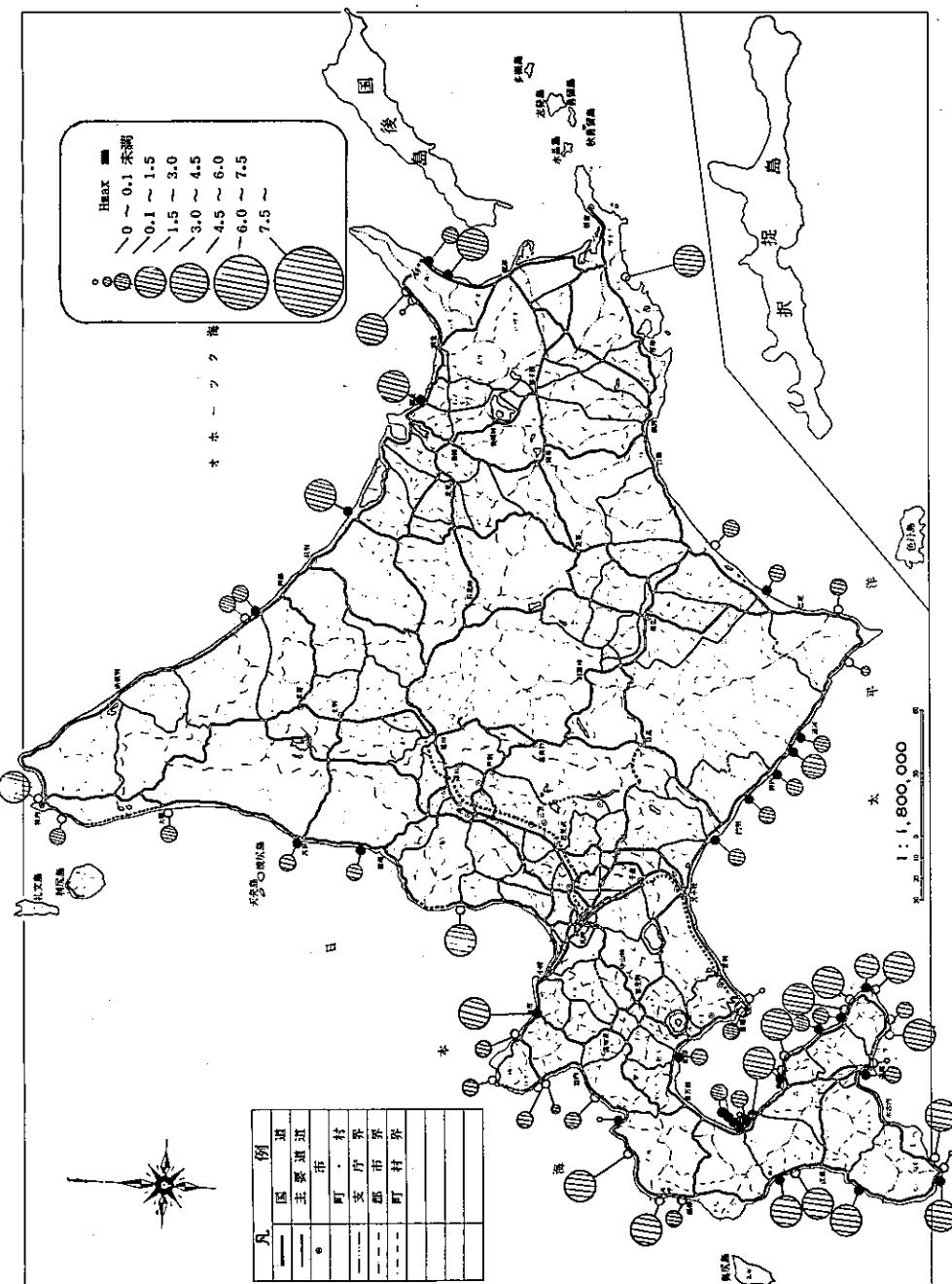


図-6.1 消波ブロックの最大剝離深さ(H_{max})

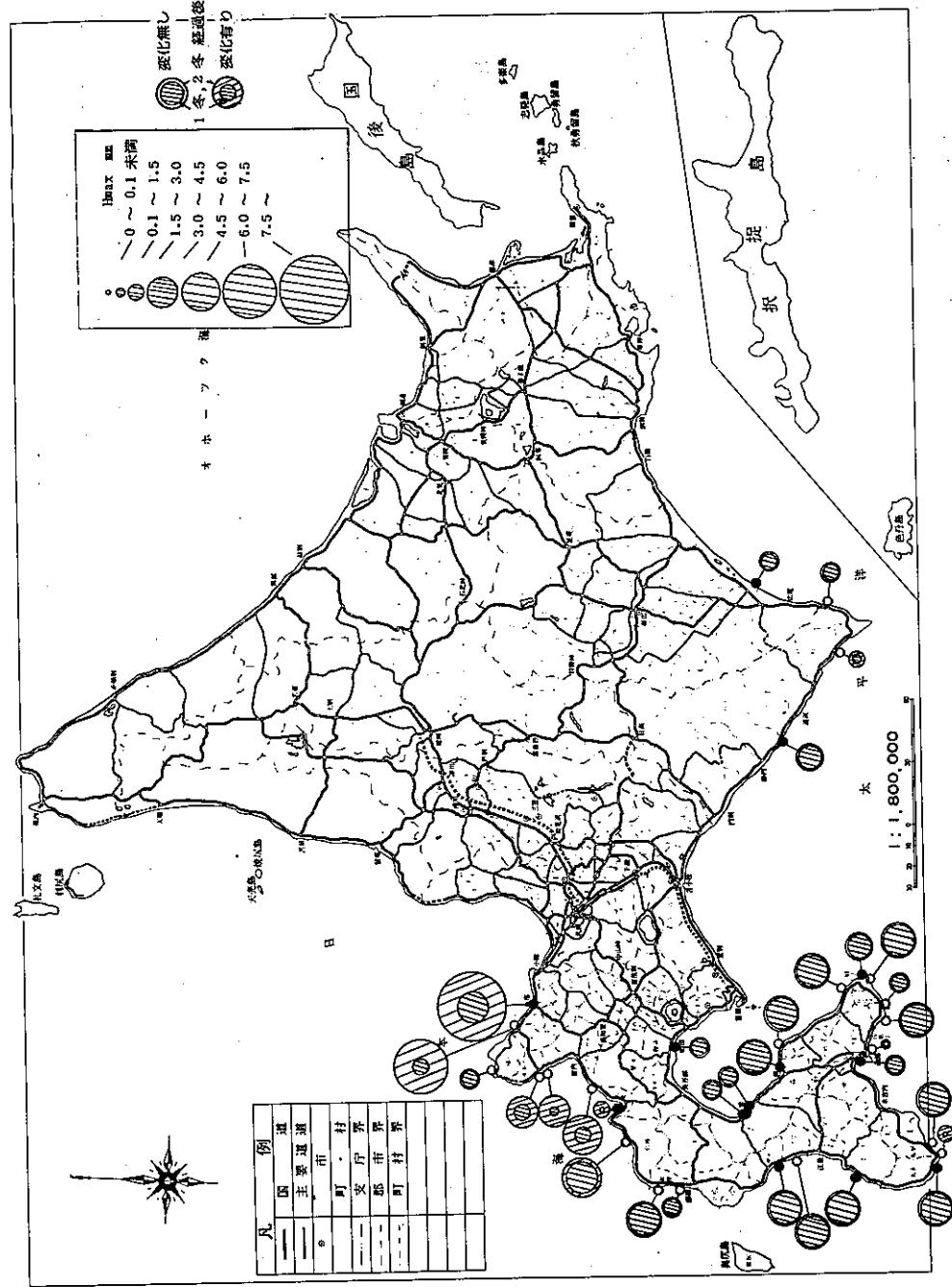


図-6.2 消波ブロックの最大剥離深さの進行(H_{max})

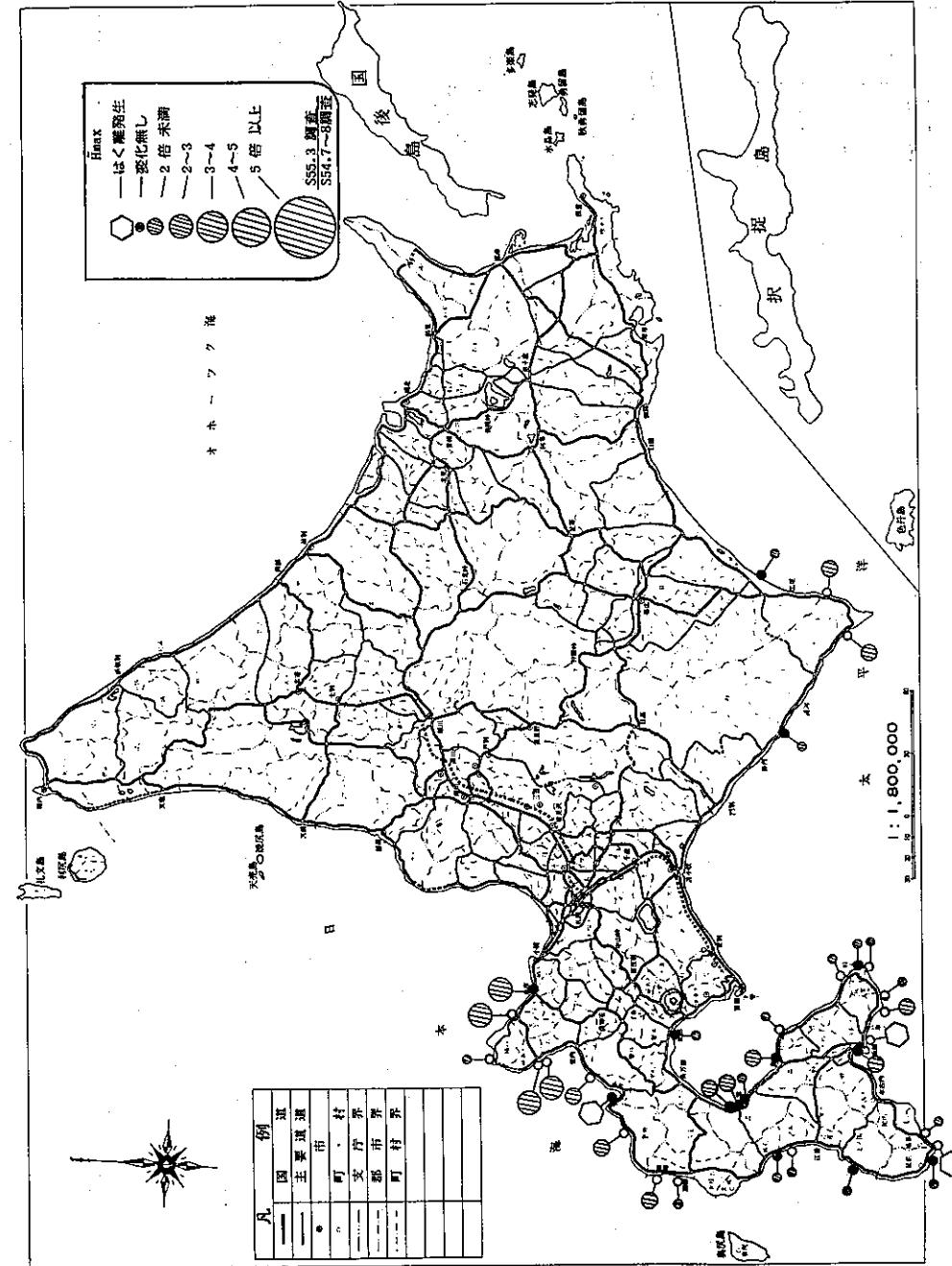


図-6.3 消波ブロックの最大剥離深さの進行(H_{max})

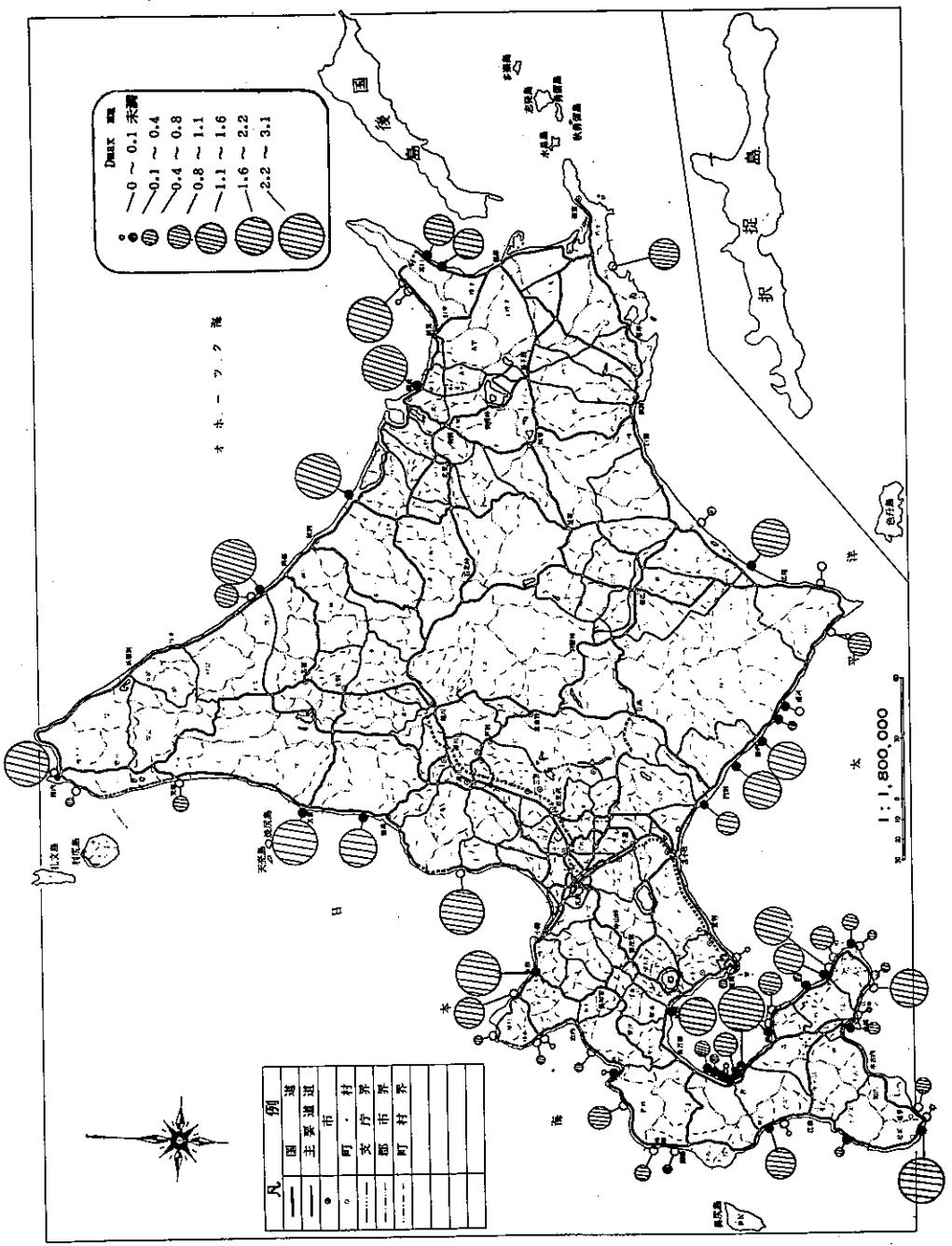


図-6.4 消波ブロックの最大剥離度 (D_{max})

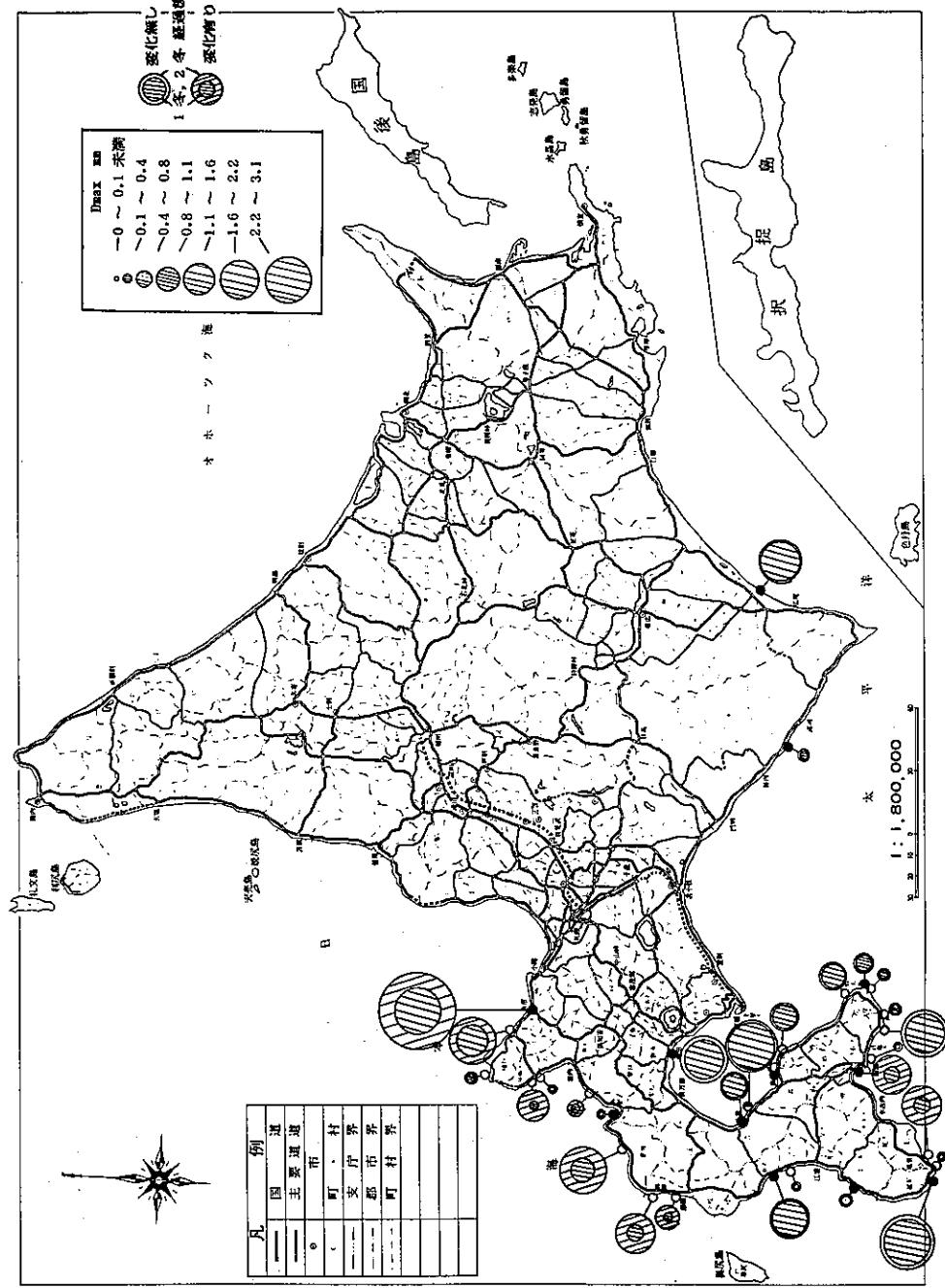


図-6.5 消波ブロックの最大剥離度の進行 (D_{max})

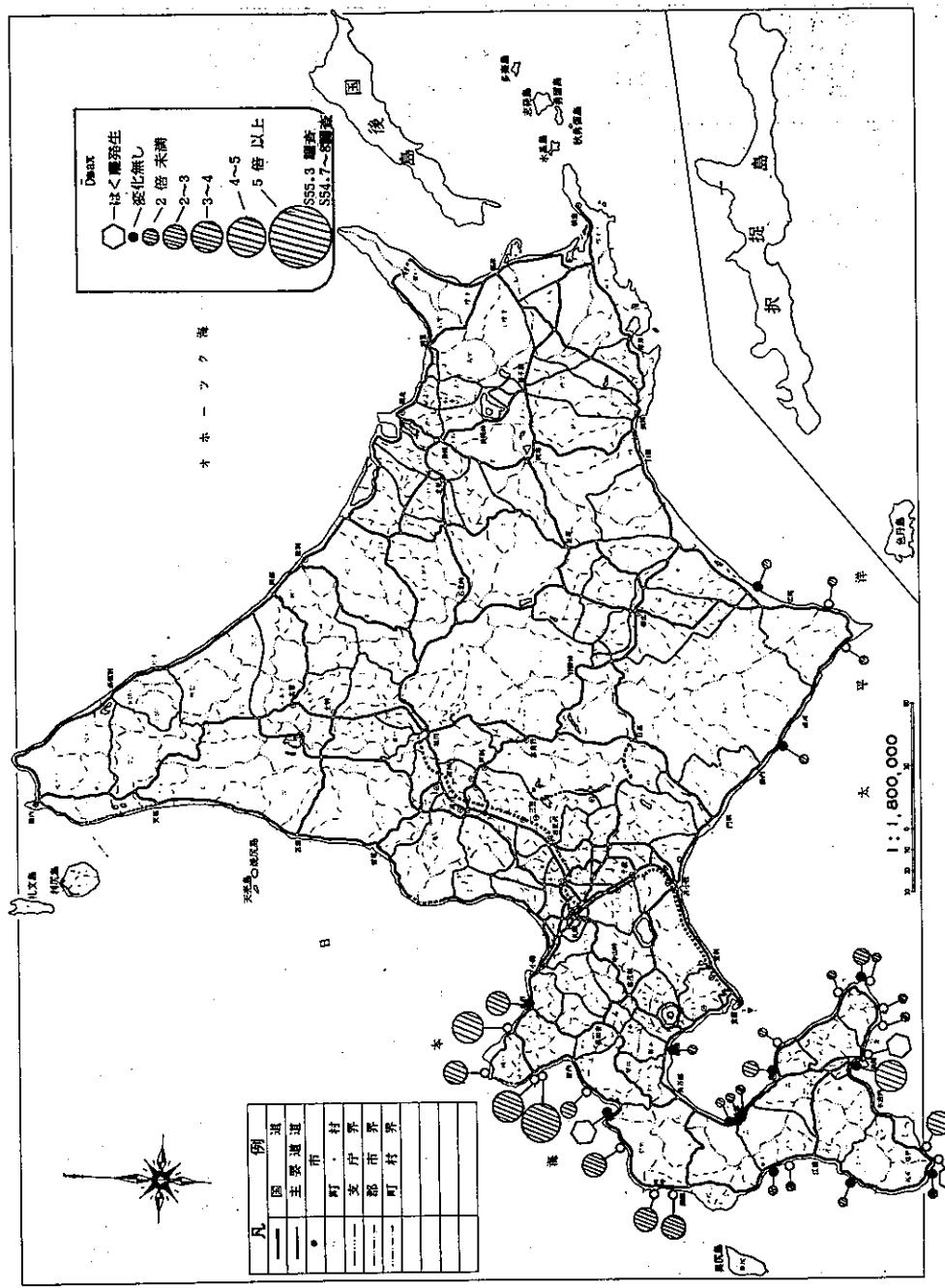


図-6.6 滞波ブロックの最大剝離度の進行 (D_{max})

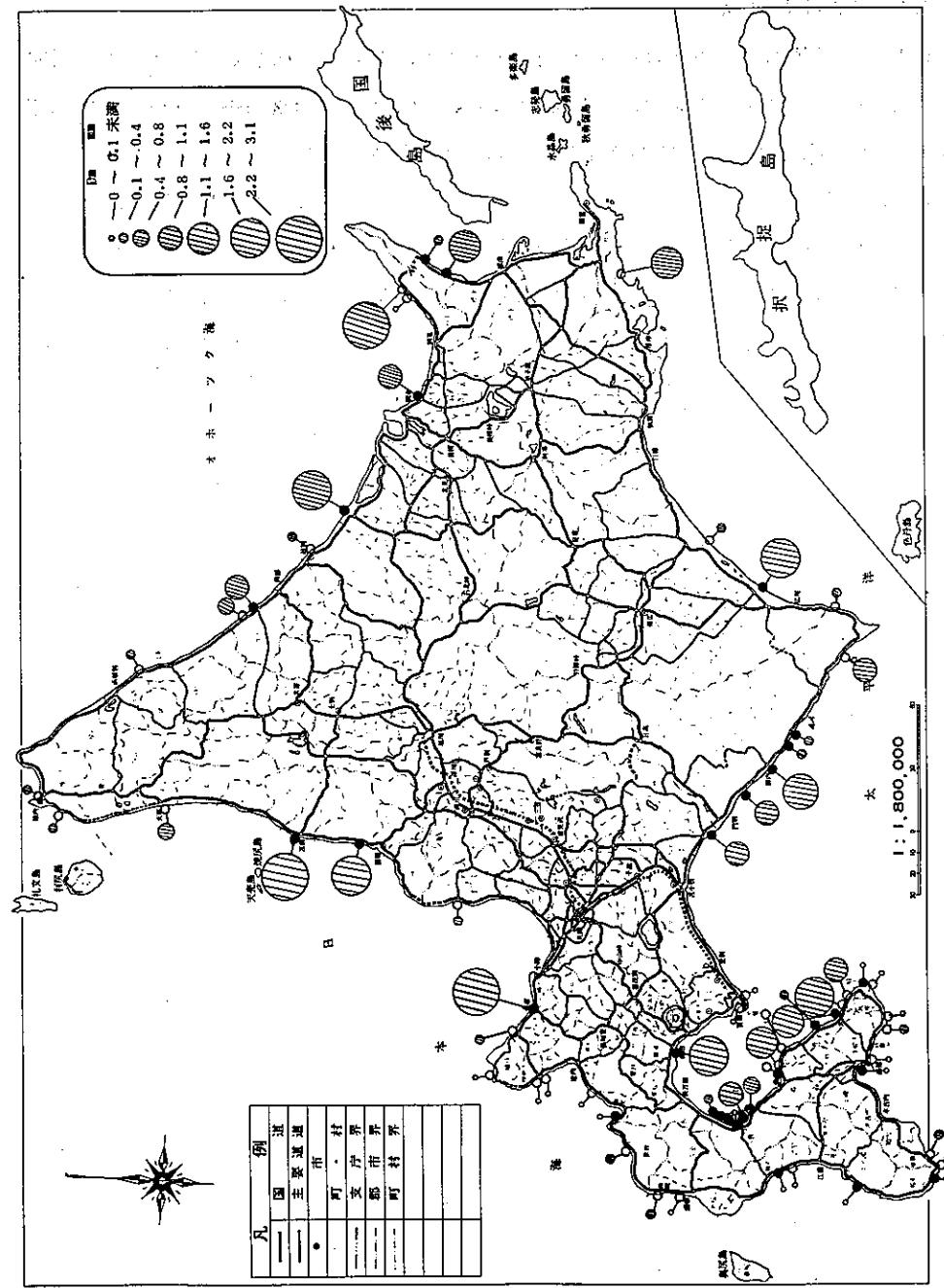


図-6.7 滞波ブロックの平均剝離度 (D_m)

(2) 防波堤および岸壁の剥離

図-6.8～6.12に防波堤・岸壁の剥離状況を示した。防波堤・岸壁の上面および胸壁の上面および側面の剥離を対象とした。

図-6.8は最大剥離深さ(H_{max})の状況を示したもので、10.3mmの最大のものが1件(留萌地域)発生していた。6.0～7.5mm未満の剥離が2件、比較的大きな剥離深さ3.0～6.0mm未満が約38%あり、網走地域に多い傾向を示していた。剥離深さの小さい0.1～3.0mm未満は、約26%あり、北海道南部に比較的多い。0.1mm未満および剥離無しが約34%であった。図-6.9は一冬経過後の剥離に対する二冬経過後の最大剥離深さの比(\bar{H}_{max})を示したもので、剥離深さの進行無しが約58%、新たに剥離が発生したのが4%、剥離深さが進行したのが約38%(2倍未満が30%、2～3倍未満4%、3～4倍未満が4%)であった。図-6.10に最大剥離度(D_{max})を示した。剥離度の大きい1.6～3.1mm未満が約20%で、その約半数は網走、稚内地域のオホーツク海沿岸で発生していた。0.8～1.6mm未満は約10%、剥離の小さい0.1～0.8mm未満で約29%、剥離がごく小さい0.1mm未満および剥離無しが約41%であった。図-6.11は最大剥離度の一冬経過後と二冬経過後の比(\bar{D}_{max})を示したもので、最大剥離度の進行無しが63%、新たに剥離が発生したものが3%、剥離が進行したものが約34%(2倍未満が17%、2～3倍未満が14%、4～5倍未満が3%)であった。図-6.12は平均剥離度(D_m)を示したもので、網走および留萌地域において平均剥離度が比較的大きい傾向を示した。平均剥離度1.6～3.1mm未満が約6%、0.8～1.6mm未満が11%、剥離の小さい0.1～0.8mm未満が41%、0.1mm未満の剥離のごく小さいものおよび剥離無しが42%であった。

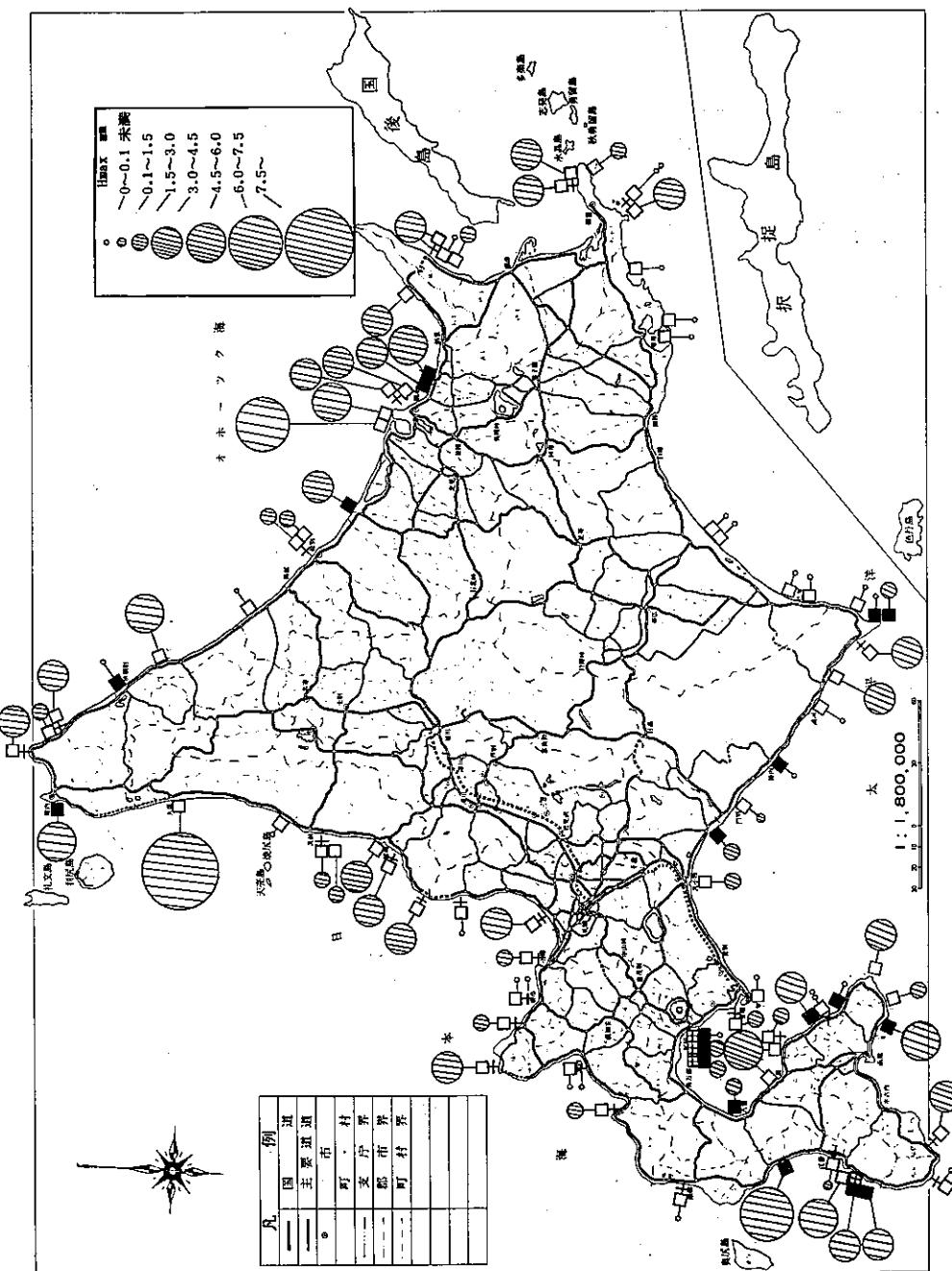


図-6.8 防波堤・岸壁の最大剥離深さ(H_{max})

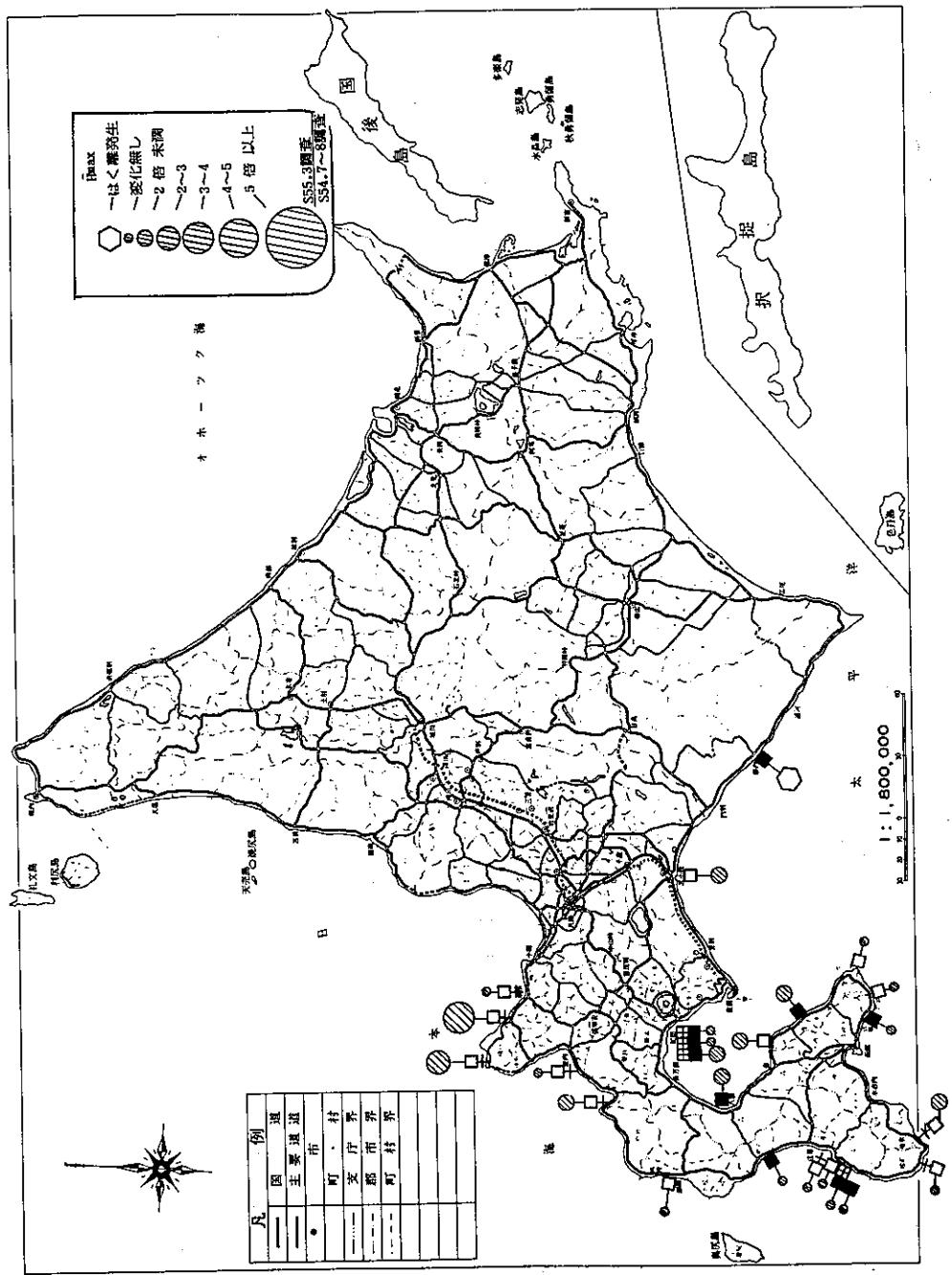
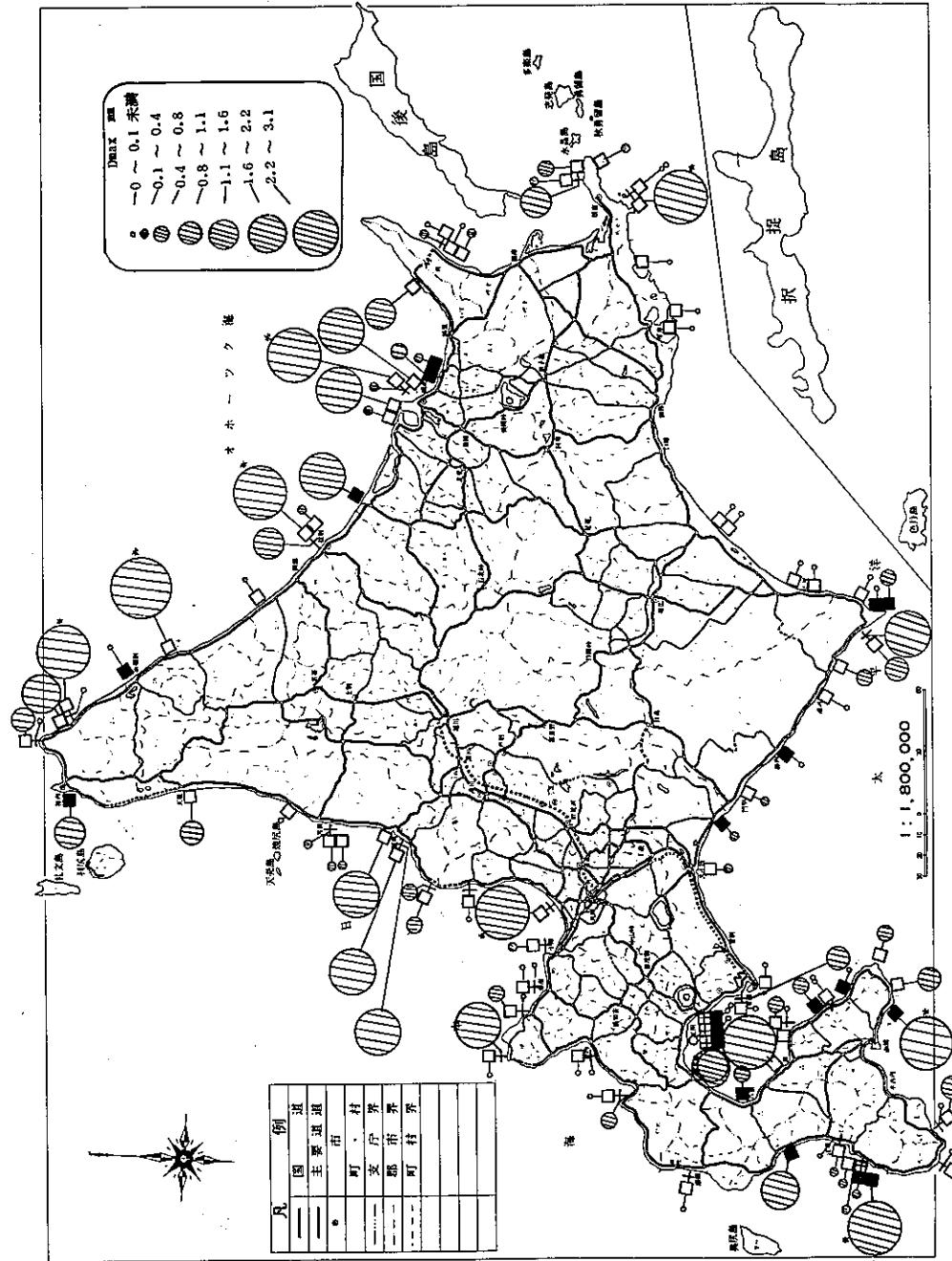


図-6.9 防波堤・岸壁の最大剥離深さの進行 (\bar{H}_{max})



-25-

図-6.10 防波堤・岸壁の最大剝離度 (Dm ax)

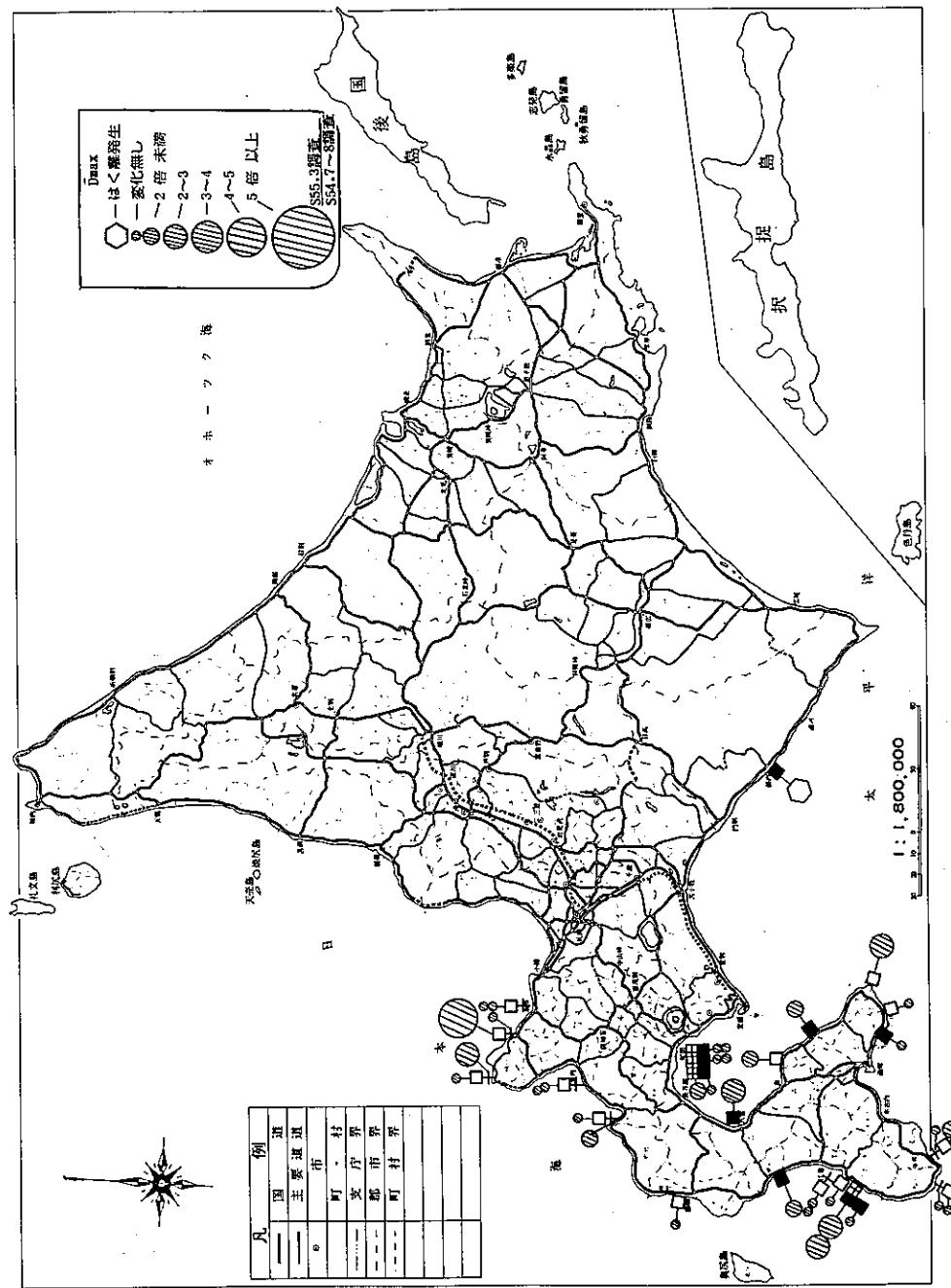


図-6.11 防波堤・岸壁の最大剝離度の残行 (\overline{D}_{max})

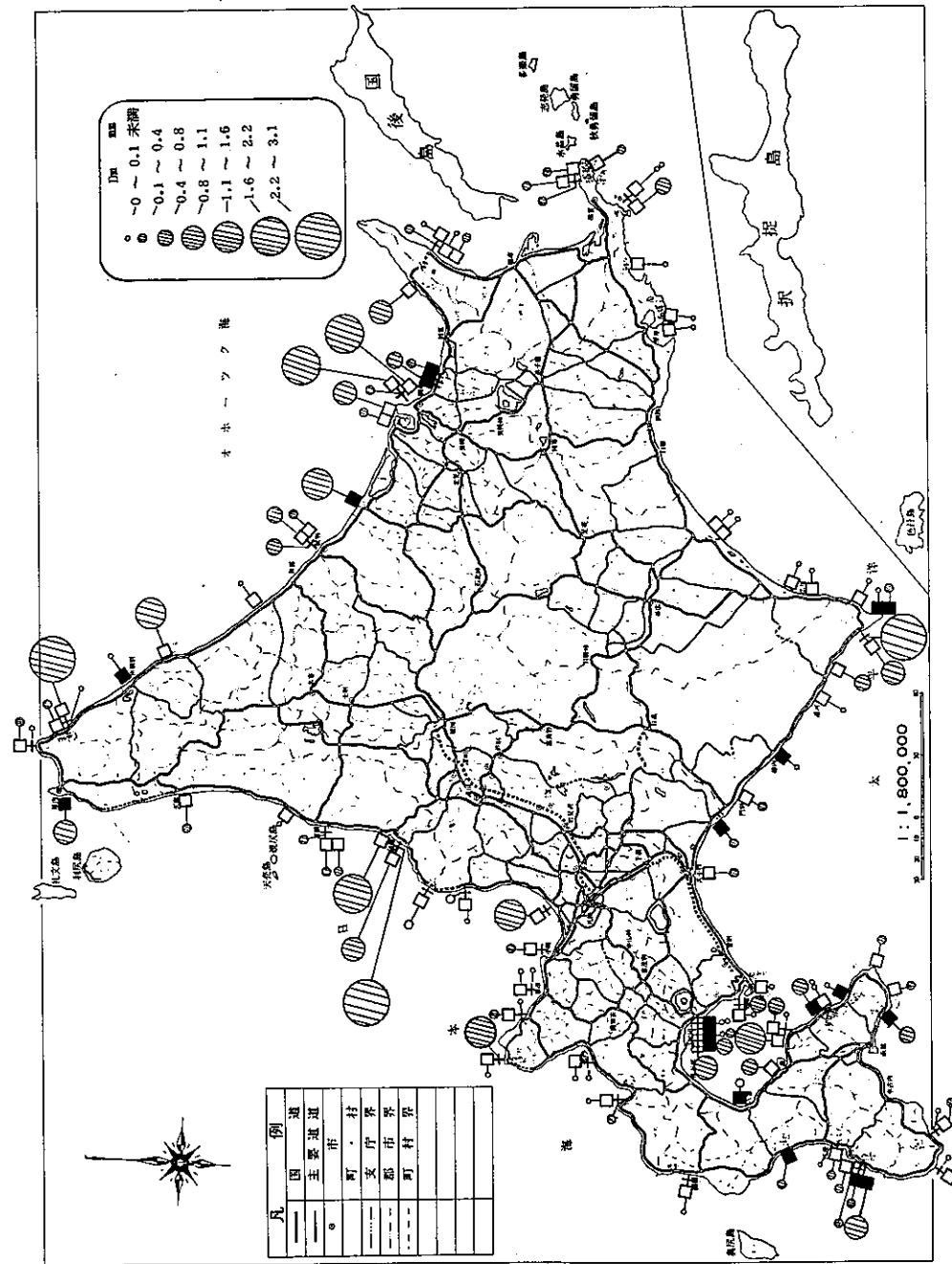


図-6.12 防波堤・岸壁の平均剝離度 (D_m)

(3) 摊壁および覆道の剥離

図-6.13～図-6.19に擁壁・覆道の剥離状況を示した。

図-6.13は最大剝離深さ(H_{max})を示したもので、7.5mm以上が2個所(8.8mmと13.2mm)、8.0～6.0mm未満が約14%、0.1～3.0mm未満が約27%、0.1mm未満および剝離無しが約55%であった。図-6.14は一冬経過後と二冬経過後の比較を示したもので、かなりの剝離の進行が認められた。図-6.15は一冬経過後の最大剝離深さに対する二冬経過後の比(\bar{H}_{max})を示したもので、最大剝離深さの進行が無いもの約50%、新たに発生したもの約17%、剝離が進行したもの約33%(2倍未満が28%、2～3倍未満5%)であった。図-6.16は最大剝離度(D_{max})を示したもので、剝離の大きい1.6～3.1mm未満が約12%、0.8～1.6mm未満が約5%、剝離の小さい0.1～0.8mm未満が約14%、0.1mm未満および剝離無しが約69%であった。図-6.17および図-6.18は一冬経過後と二冬経過後の最大剝離度の比較およびその比(\bar{D}_{max})を示したもので、最大剝離度の進行が認められた。最大剝離度の進行がないものが約59%、新たに発生したもの約13%、進行したものが約28%(2倍未満13%、2～3倍未満3%、3～4倍未満3%、4～5倍未満6%、5倍以上が3%)であった。図-6.19は平均剝離度(D_m)を示したもので、2.2～3.1mm未満が2個所、1.6～2.2mm未満の発生ではなく、0.8～1.6mm未満が約7%、0.1～0.8mm未満が約13%、0.1mm未満および剝離無しが約78%を占めていた。

擁壁の上面の剥離は少なく、側面の剥離発生の割合が顕著であった。

同一個所の一冬経過後および二冬経過後の剝離発生および進行状況について、写真13～写真15に示した。

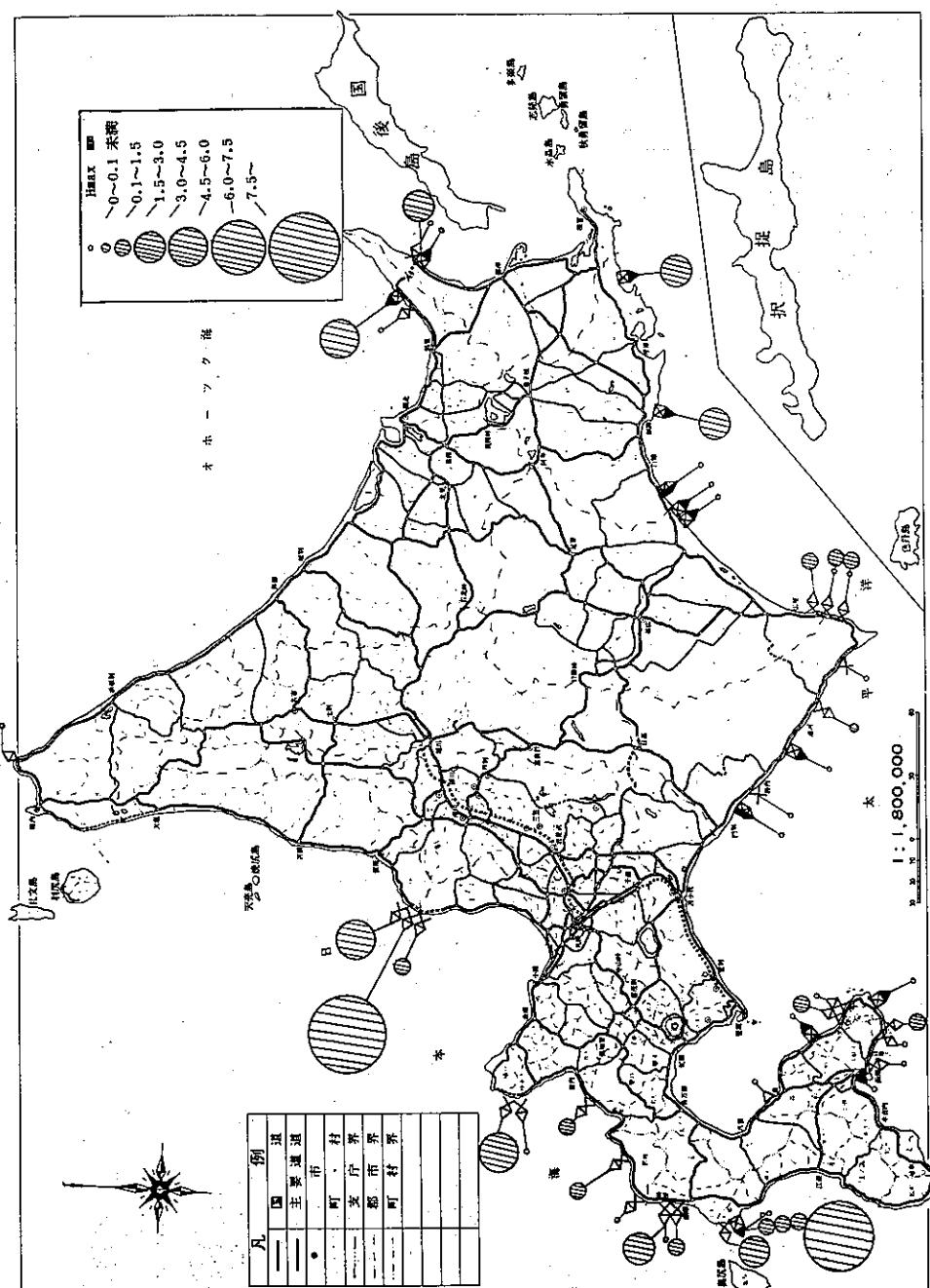


図-6.13 摊壁・覆道の最大剝離深さ (Hmax)

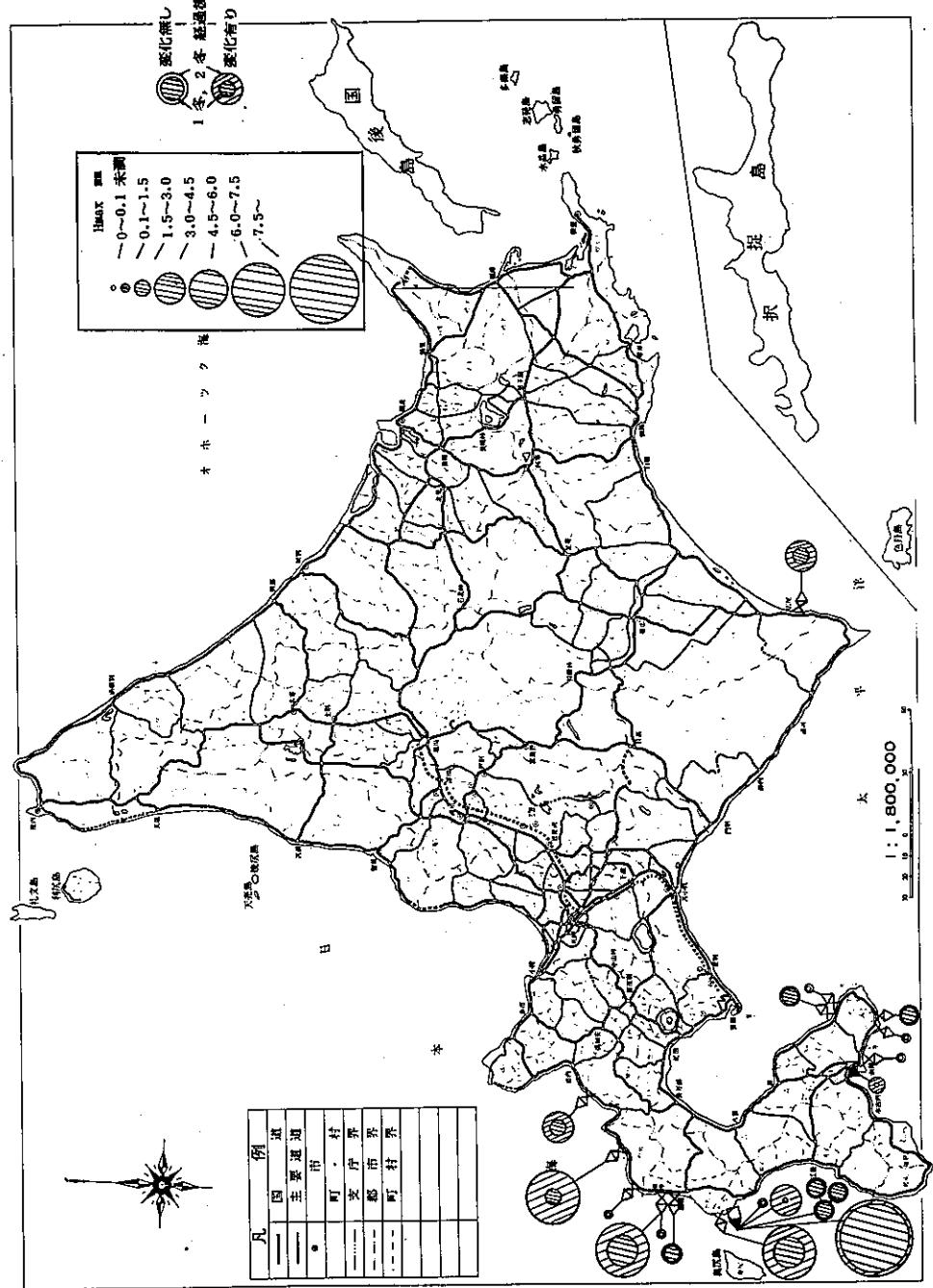


図-6. 14 摩擦・覆道の最大剥離深さの進行 (Hmax)

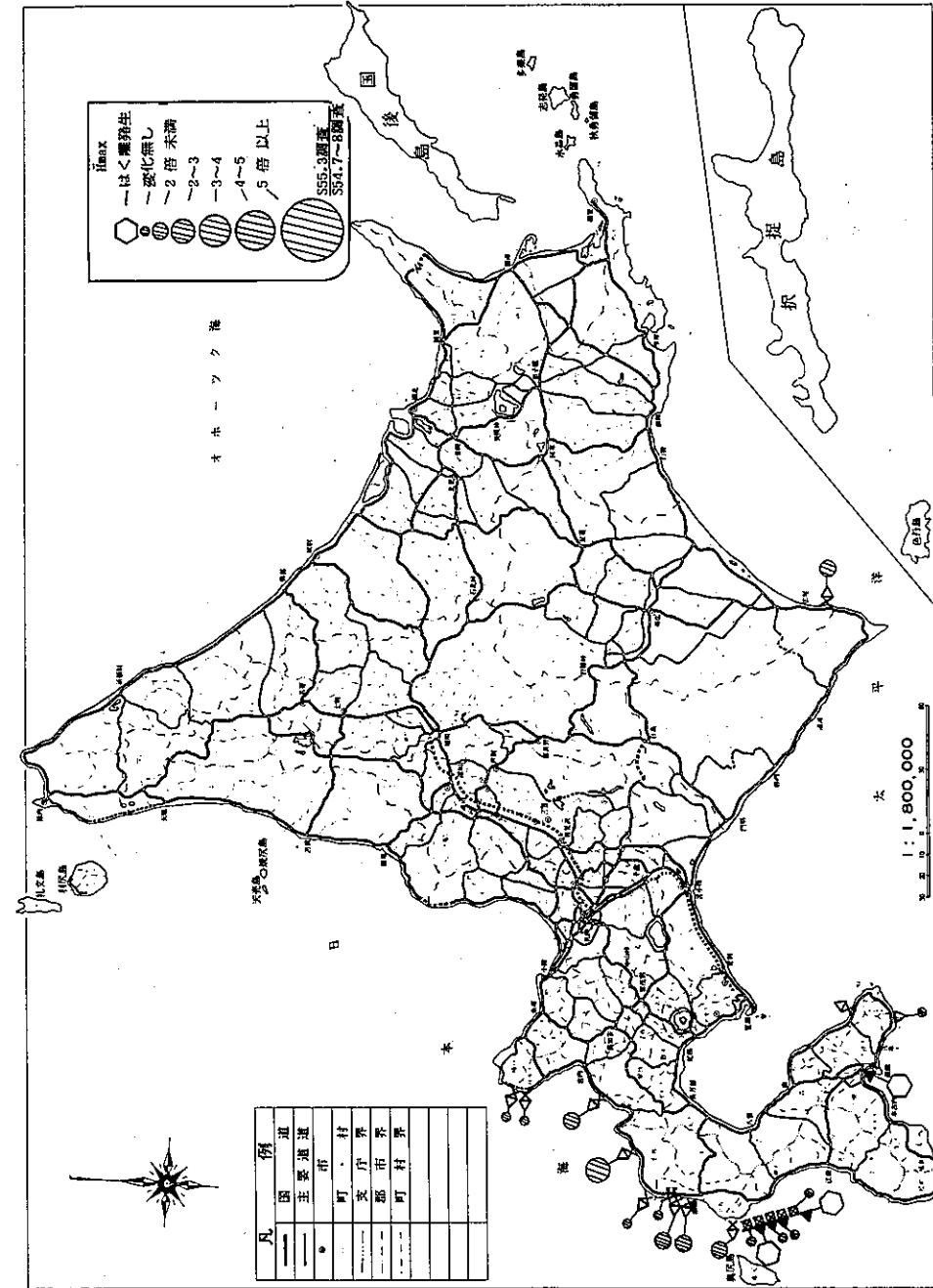


図-6. 15 摩擦・覆道の最大剝離深さの進行($\overline{\text{Hm ax}}$)

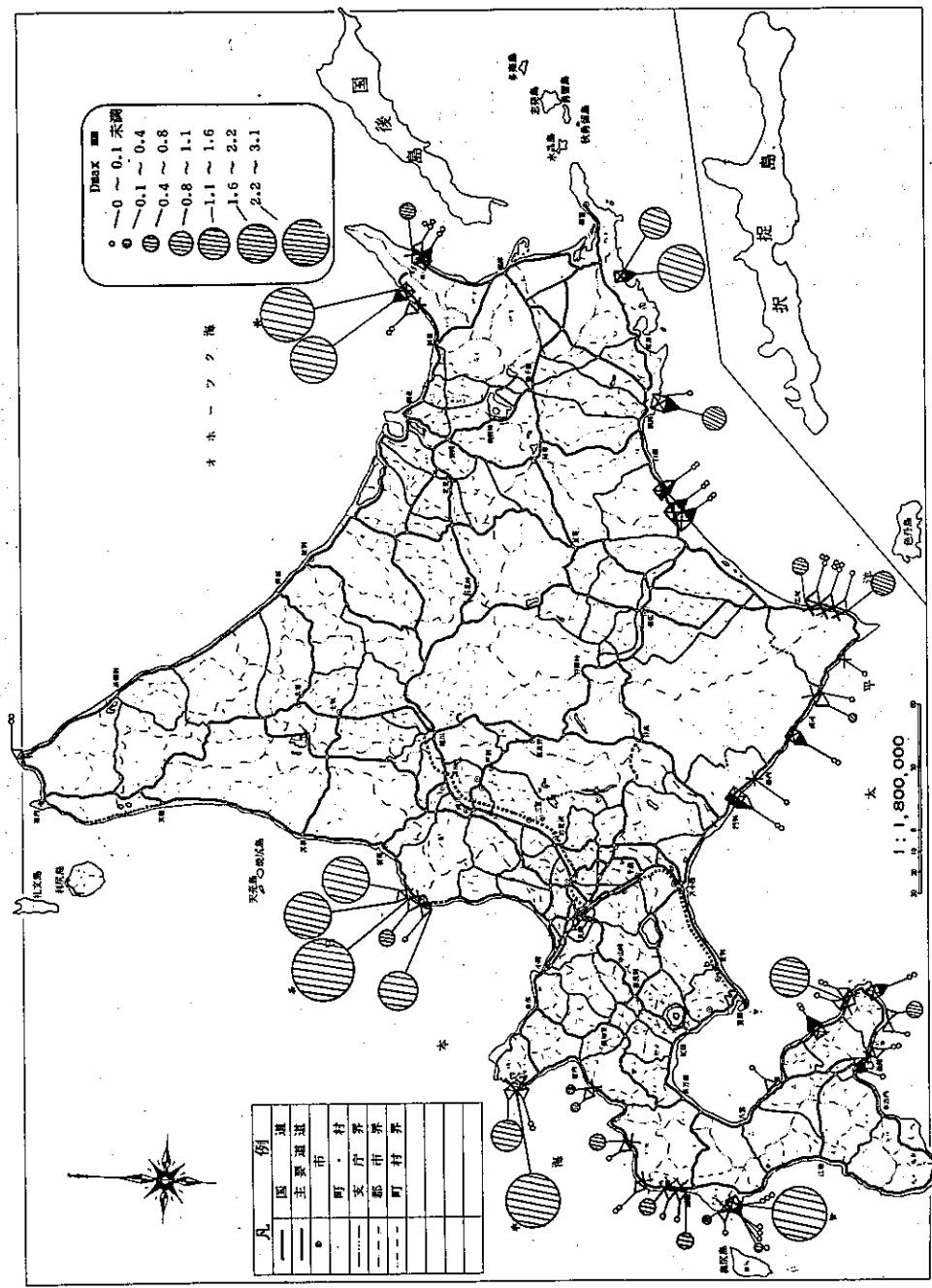


図-6. 16 摊壁・覆道の最大剝離度 (Dmax)

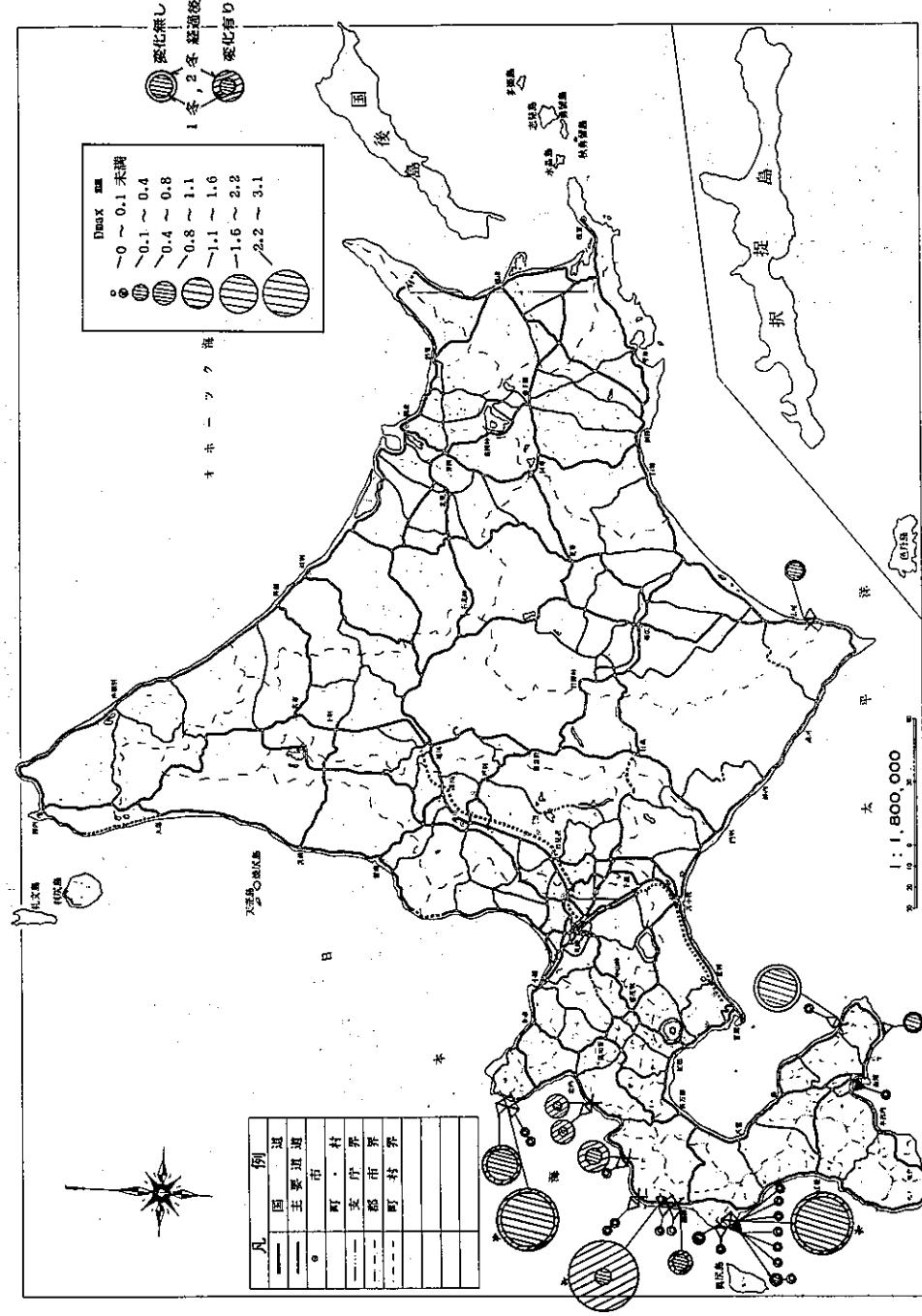


図-6.17 摺壁・覆道の最大剥離度の進行 (D_{max})

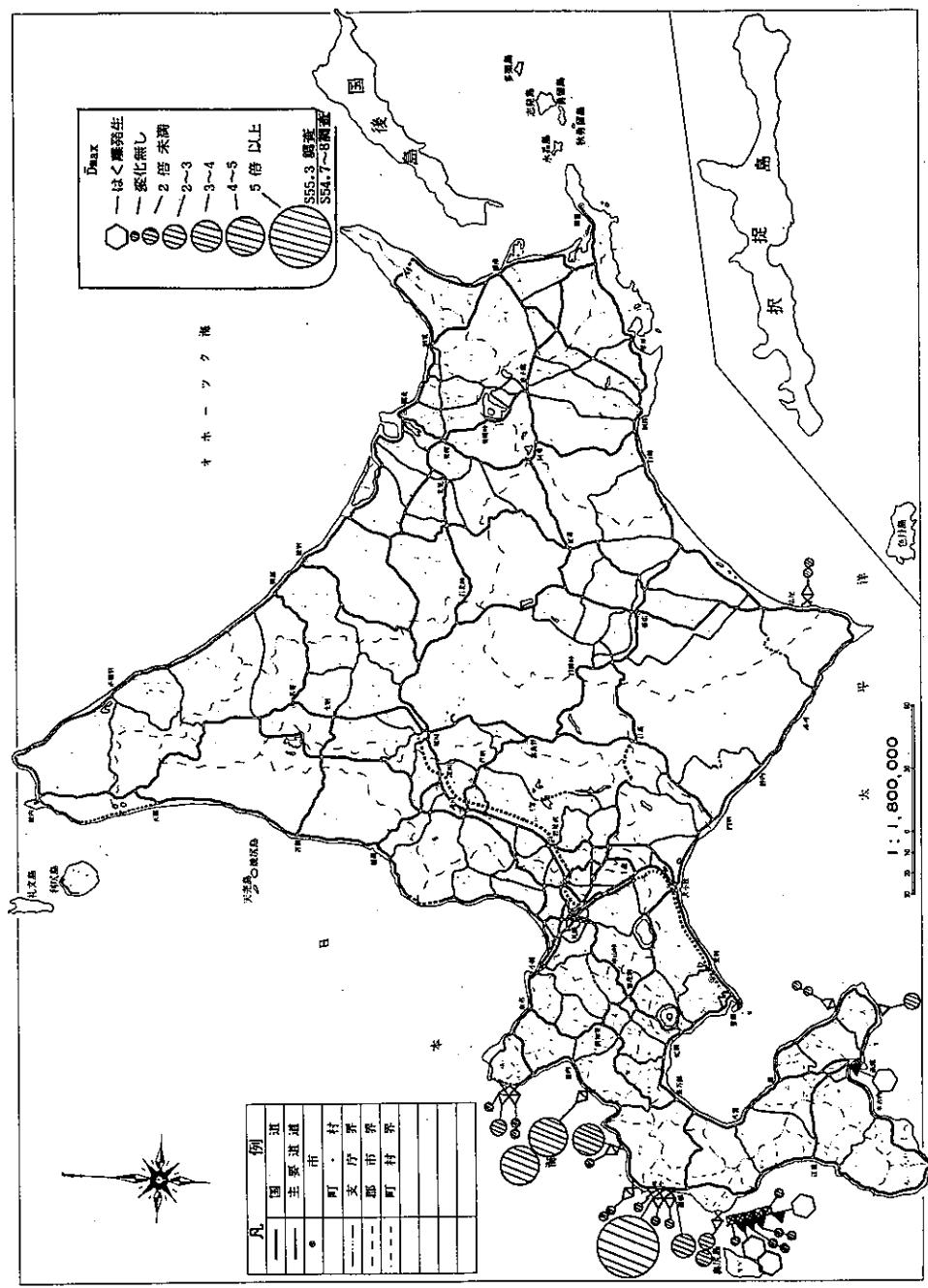


図-6.18 推壁・覆道の最大剝離度の進行 (\overline{D}_{\max})

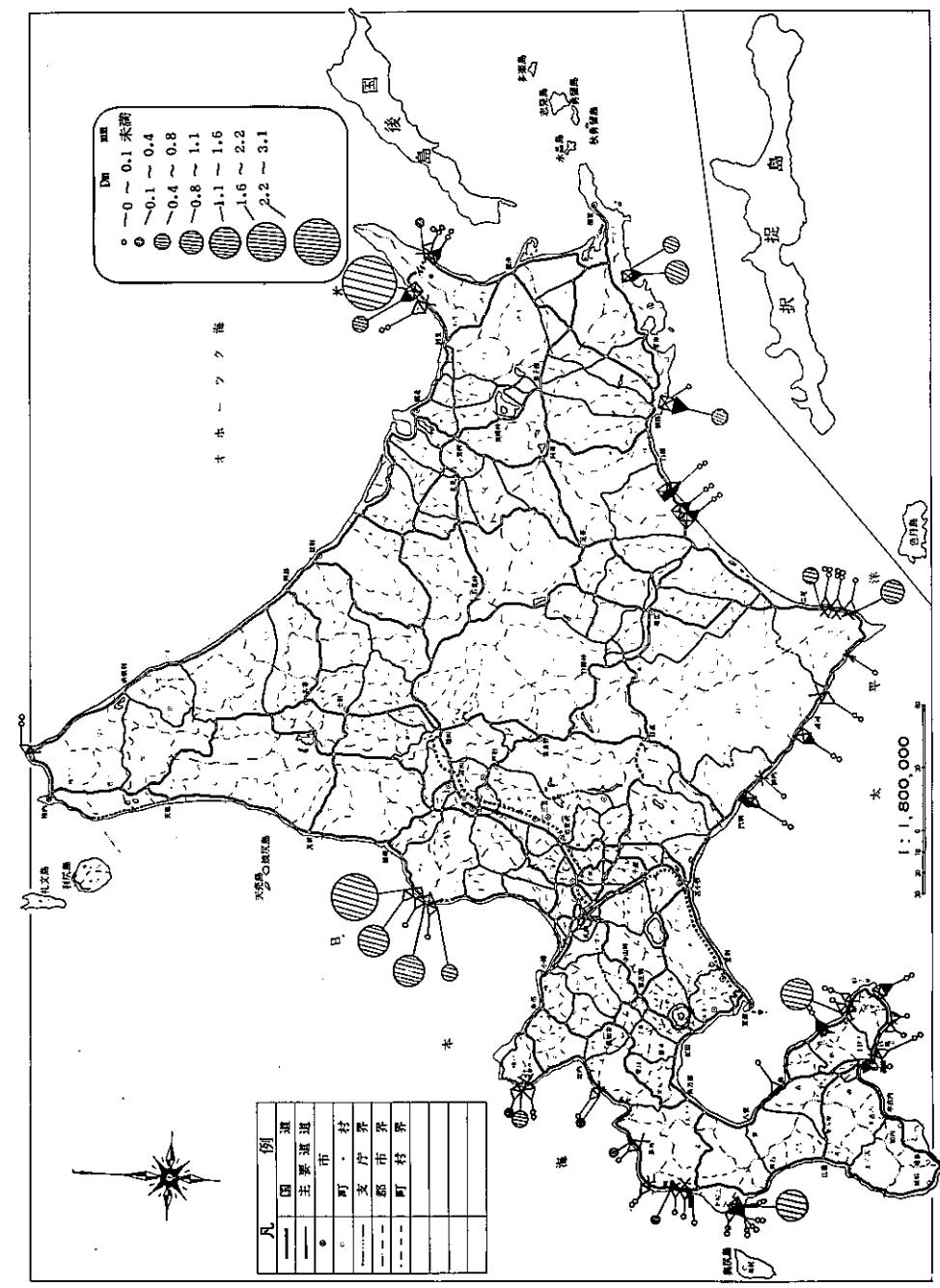
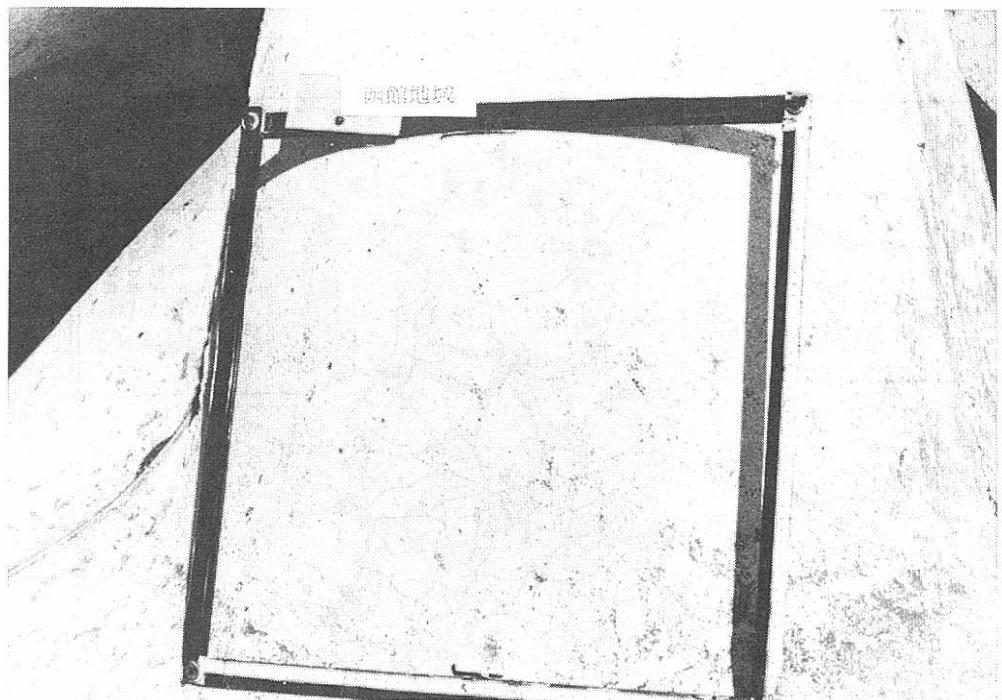


図-6.1.9 摩擦・覆道の平均剥離度（Dm）



1 冬経過 剥離なし



1 冬経過後

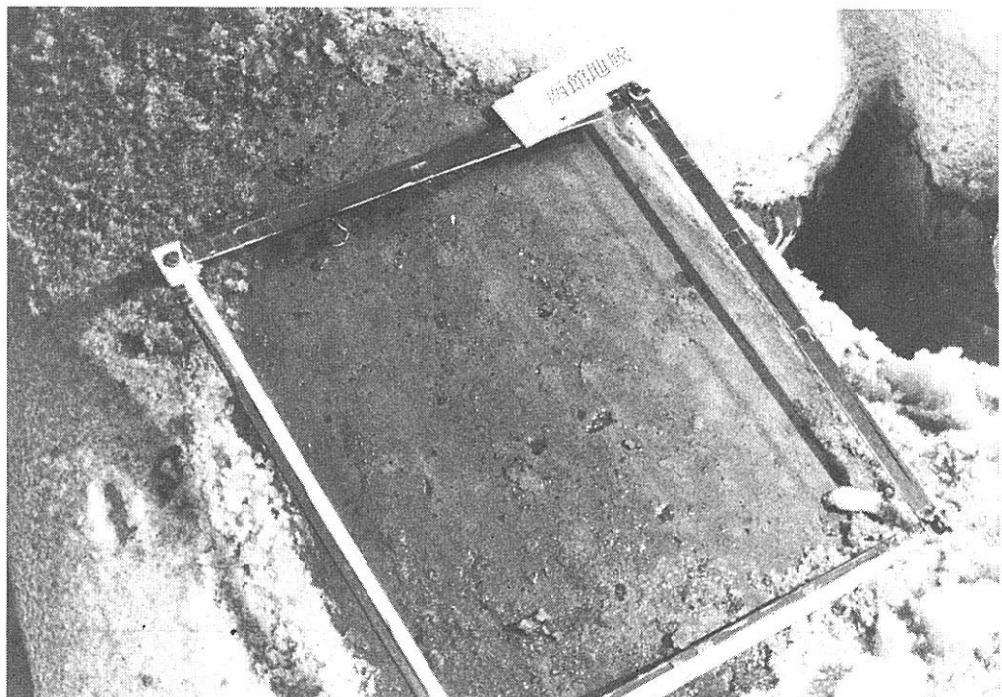


写真13 消波ブロックの剥離の発生 2冬経過後 剥離発生

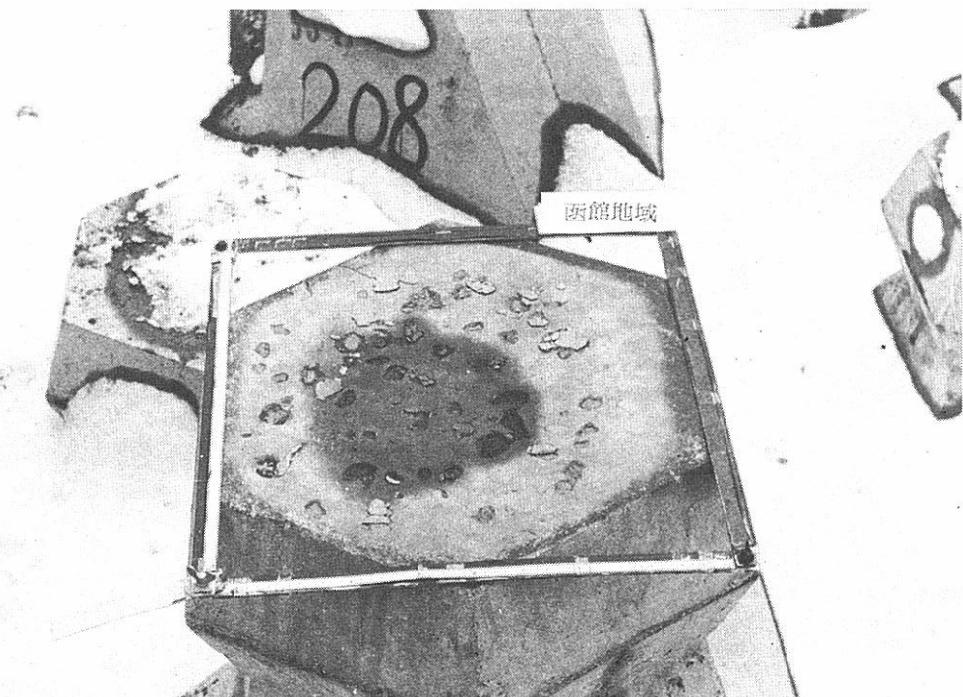


写真14 消波ブロックの剥離進行 2冬経過後



1 冬経過後

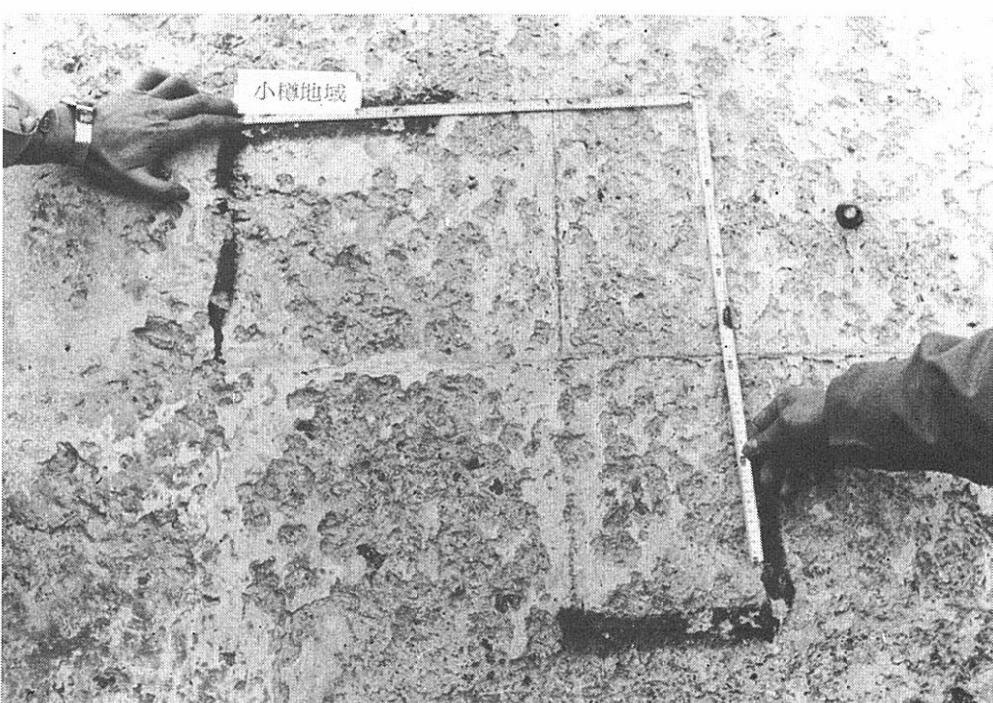


写真 15 擁壁の剥離進行 2 冬経過後

- 38 -

7 剥離発生の要因

剥離発生の要因としては材料、配合、施工あるいは養生方法など人間によって変えることが可能な要因と、その後の気温、風、湿度、海水作用、凍結融解作用など、人間によって変えることが困難な環境要因とに分けられる。これらの多数ある要因を絞って検討する。材料配合関係では粗骨材の品質、セメント量、セメント水比（あるいは水セメント比）、強度では標準養生による材令 28 日の圧縮強度、シュミットハンマーによる圧縮強度、環境条件としては打設後 14 日間の平均気温および湿度、海水の影響としては汀線からの距離、凍結融解作用としては気温から推定される凍結融解回数を要因として挙げ、剥離との相関性を検討した。

(1) 粗骨材の品質

表面剥離の形態は骨材の界面から剥離する場合が多数見られ、モルタルマトリックスと骨材の物理的な不連続性が環境の影響を受けて、凍結融解に対する弱点部を形成すると想定され、粗骨材の性質が重要なファクターと考えられる。粗骨材の品質を総合的に評価するために、セメント協会コンクリート専門委員会で行った結果（セメントコンクリート No. 395, Jan. 1980, pp. 45～53）を準用した。粗粒率、絶乾比重（ここでは表乾比重を代用した）および吸水率は調査の資料を用い、その他は資料がない場合が多いので沙流川および天塩川産粗骨材の平均値（前記専門委員

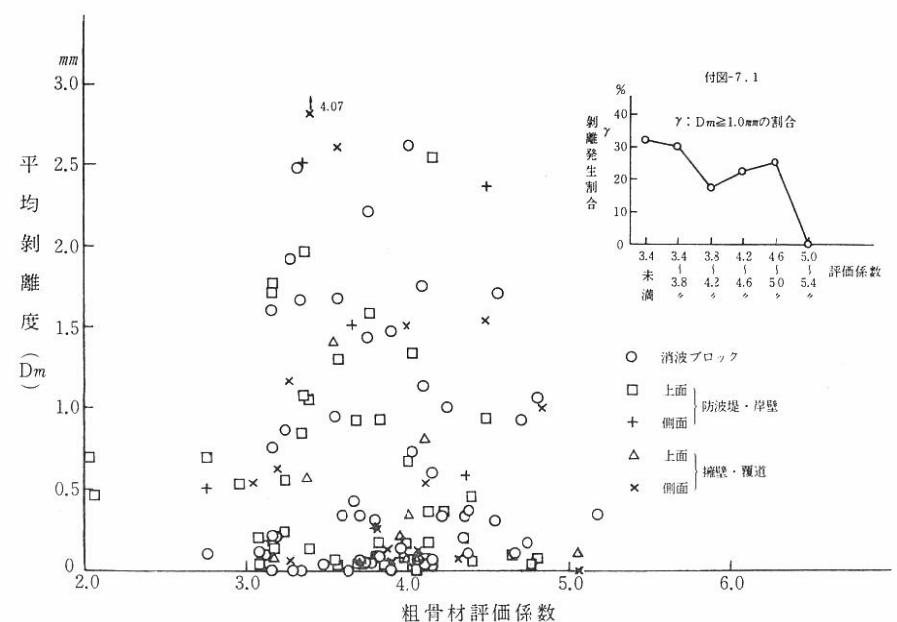


図-7.1 粗骨材評価係数と平均剥離度 ($D_m > 0$)

- 39 -

会の資料を参照した)を用いた。これらの数値は、粒形判定実積率 6.2.3 %、洗い試験で失われるもの 0.45 %、粘土塊 0.25 %、安定性試験損失重量 2.0.2 %、すりへり減量 1.7.4 %、軟石量 0.75 %、破碎値 1.2.0 %である。これらを代入すると、品質評価係数(A)は次式のようになる。

図-7.1は骨材評価係数と平均剝離度(D_m)との関係を示したものである。評価係数は3~5に分布している。一部2.0程度のものもあり、これは品質の悪い骨材の部類に入る。付図は評価係数を3.4から0.4間隔で分割して、各範囲にある個数($D_m > 0$ の場合)に対する平均剝離度(D_m)が1.0mm以上の個数の割合(γ)を表わしたものである。評価係数が3.4から大きくなるに従って、ほぼ剝離が小さくなる傾向を示している。全体的な傾向から見て、評価係数が低いものは剝離が大きくなる可能性があることが認められる。

(2) 単位セメント量

セメント量はモルタルマトリックスの強度を決めるものであり、耐久性を決める重要な要素の一つである。図-7.2は単位セメント量と平均剝離度の関係を示したものである。セメント量が24.0～28.0 kg/m³まではセメント量に関係なく剝離が多く発生し、セメント量が29.0 kg/m³を越えるところから剝離が小さくなる。付図も同じように29.0～30.0 kg/m³を越えるとD_mが1.0 mmを

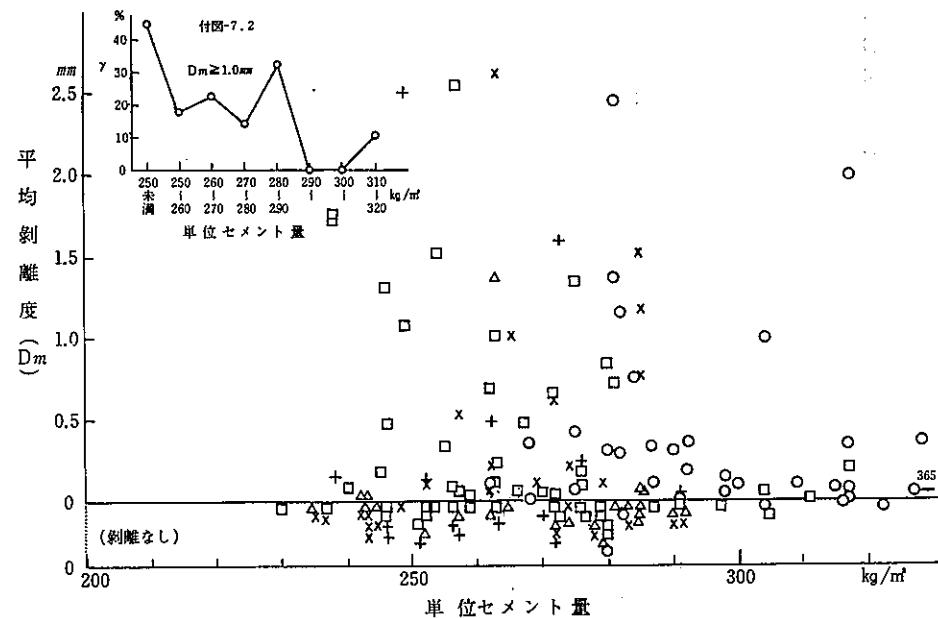


図-7.2 単位セメント量と平均剥離度

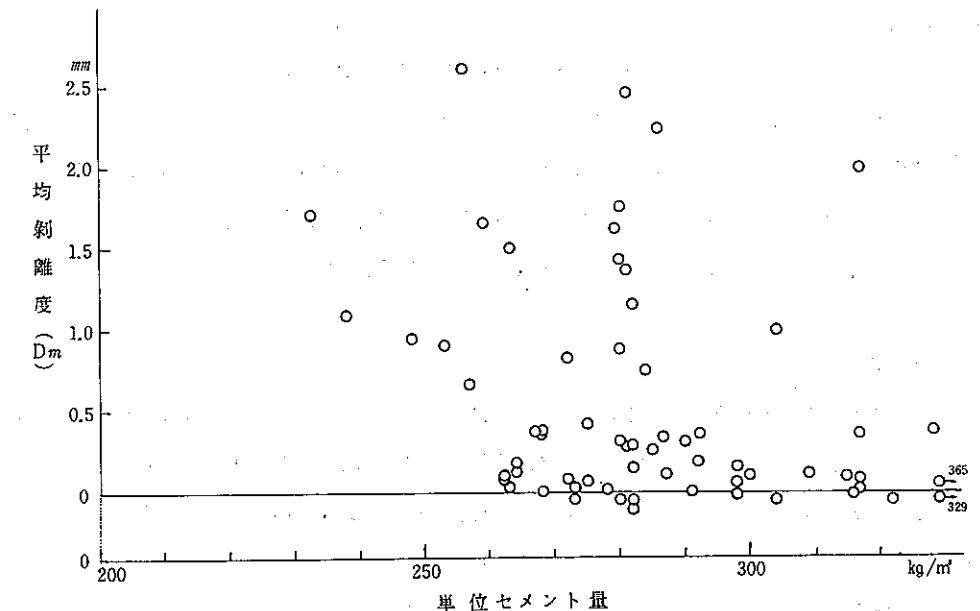


図-7.8 単位セメント量と平均剥離度（消波ブロック）

越える剝離が少なくなる傾向を示す。図-7.8は消波ブロックの場合で、単位セメント量はほぼ、 290 kg/m^3 を境に剝離が急激に減少する。図-7.4は単位セメント量と強度の関係を示したもので単位セメント量 290 kg/m^3 に対応する標準養生による材令 28 日圧縮強度 (σ_{28}) は $280 \sim 300 \text{ kgf/cm}^2$ になり、剝離を小さくするためにはこの程度の強度が必要であることを示している。

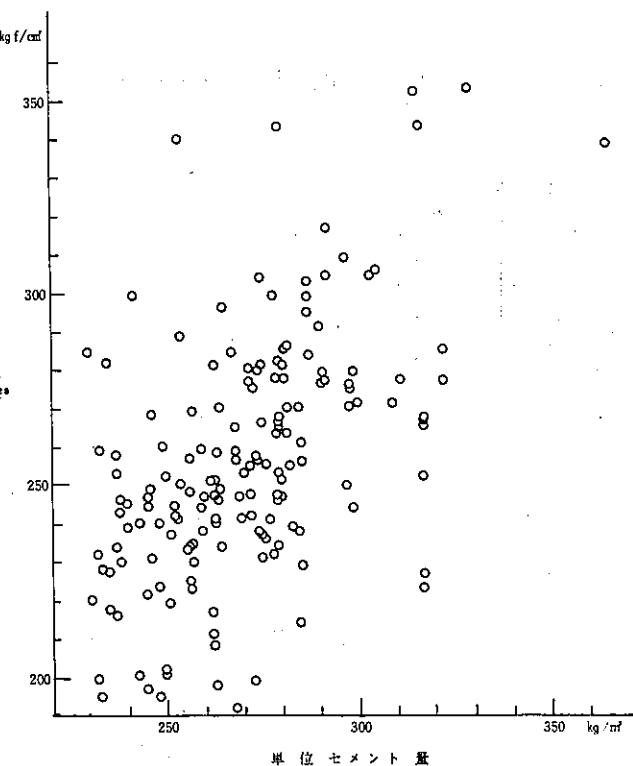


図-7.4 単位セメント量と圧縮強度

(3) セメント水比

図-7.5はセメント水比(c/w)と剝離との関係を示したもので、 c/w が1.80～2.10($w/c = 5.6 \sim 4.8\%$)までは比較的大きな剝離が発生し、2.10以上($w/c = 4.8\%$ 以下)になると剝離の程度が小さくなる傾向を示す。付図においても2.15以上になると D_m が1.0mm以上の剝離度が少なくなる傾向を示す。図-7.6は消波ブロックのみについて調べたもので同様の傾向が見られる。 $w/c = 4.8\%$ はACIの耐凍害性コンクリートの規準にはば近い値になる。

(4) 圧縮強度

図-7.7の $\bar{\sigma}_{28}$ は、ある打設量ごとに採取したコンクリートの標準養生による材令28日の圧縮強度の構造物全体の平均値で、7.(2)で指摘したと同じように、 $\bar{\sigma}_{28}$ が280～290kgf/cm²から剝離が減少する傾向を示す。図-7.8(a)は、各分割範囲内における平均剝離度の発生割合を示したものである。図-7.8(b)は、各分割した $\bar{\sigma}_{28}$ の範囲内における平均剝離度の分布を示したものである。280～290kgf/cm²を越えると0.5および1.0mm以上の剝離が少なくなる傾向を示す。図-7.9は同様に消波ブロックの場合で、290kgf/cm²以上になると剝離が小さい傾向を示す。図-7.10の圧縮強度はシェミットハンマーによる反撃硬度(R)を次式により圧縮強度(σ_{sch})に直したものである。

$$\sigma_{sch} = -18.4 + 13.0 R_0 \text{ kgf/cm}^2 \quad \dots \dots \dots \quad (7)$$

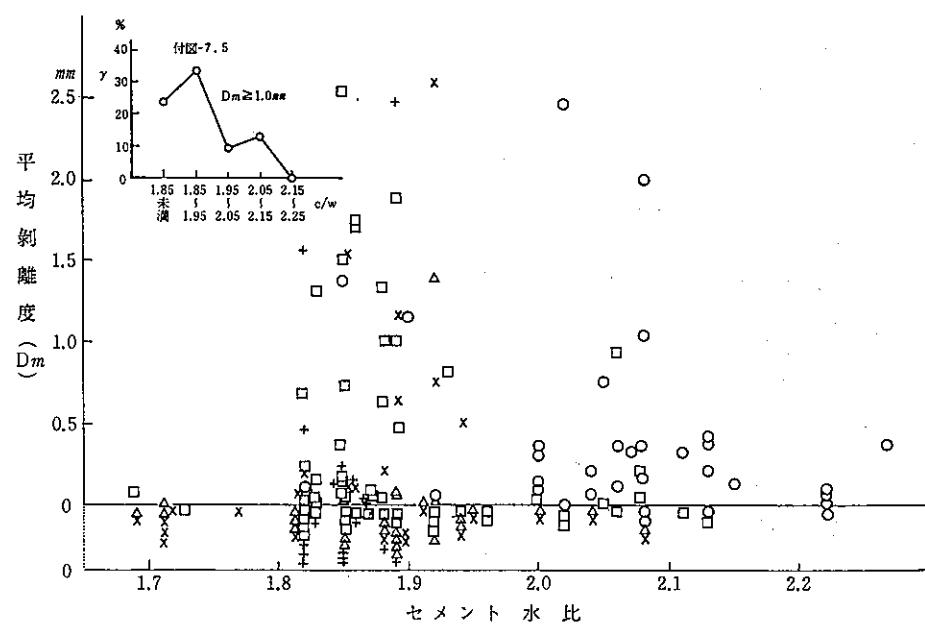


図-7.5 セメント水比と平均剝離度

$$R_0 : \text{基準硬度} = R + \text{打撃方向による補正值}$$

一冬経過後の圧縮強度において、 σ_{sch} が370～380kgf/cm²の消波ブロックでは、剝離は小さい傾向を示している。370kgf/cm²以下では、同程度の比較的大きな剝離が発生している。

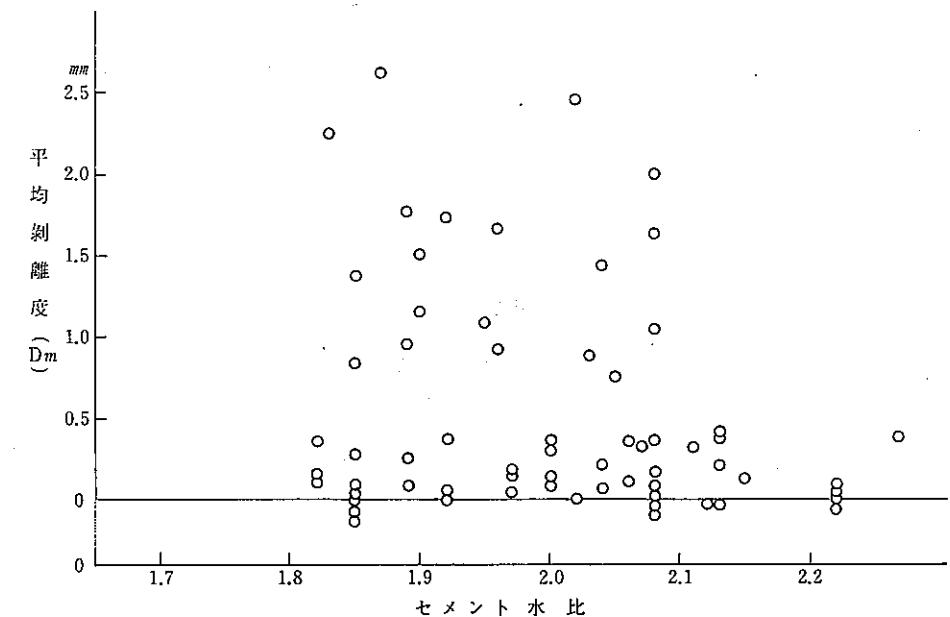


図-7.6 セメント水比と平均剝離度(消波ブロック)

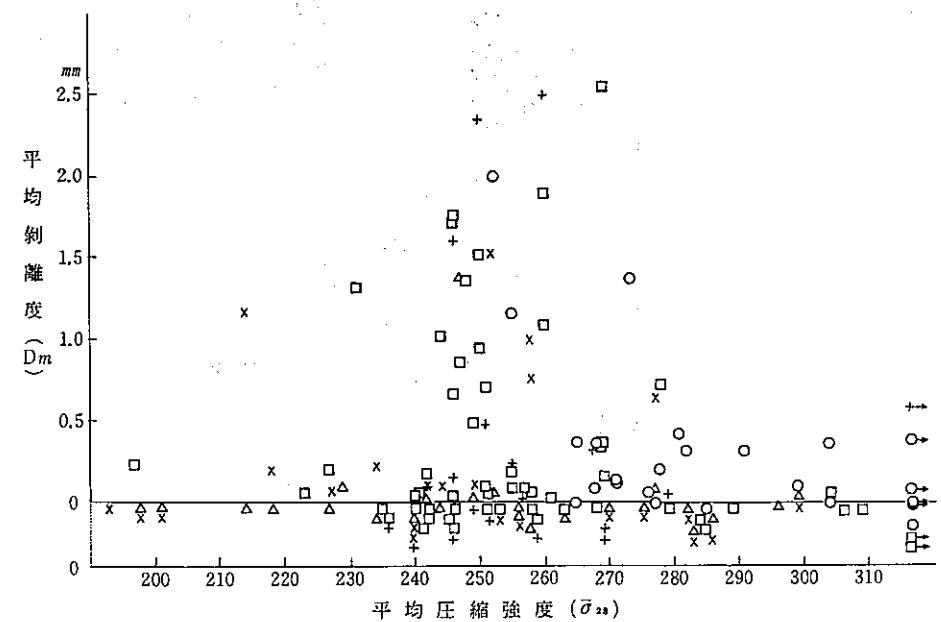


図-7.7 平均圧縮強度と平均剝離度

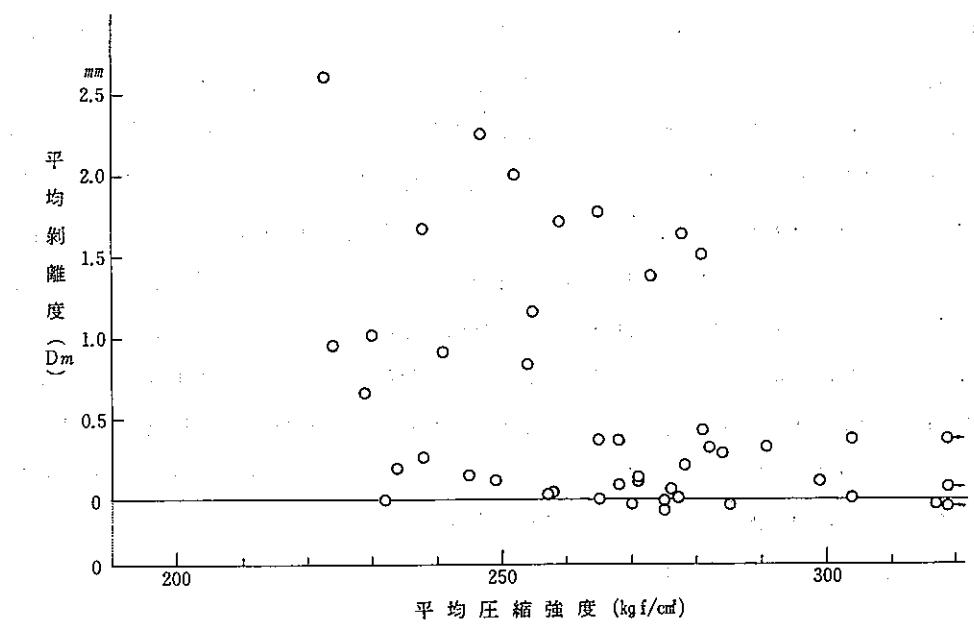
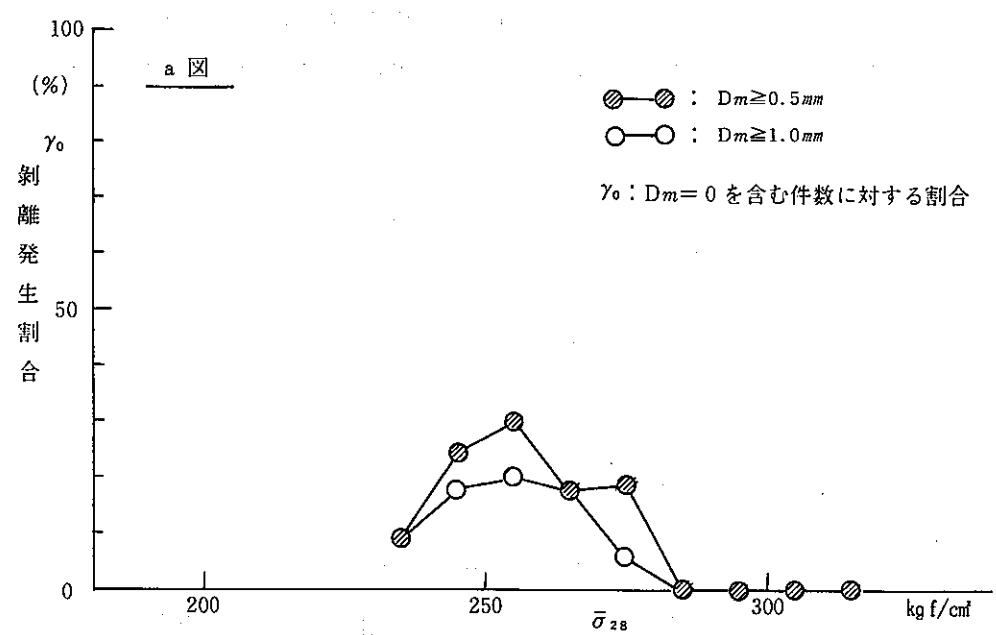


図-7.9 平均圧縮強度と平均剥離度(消波ブロック)

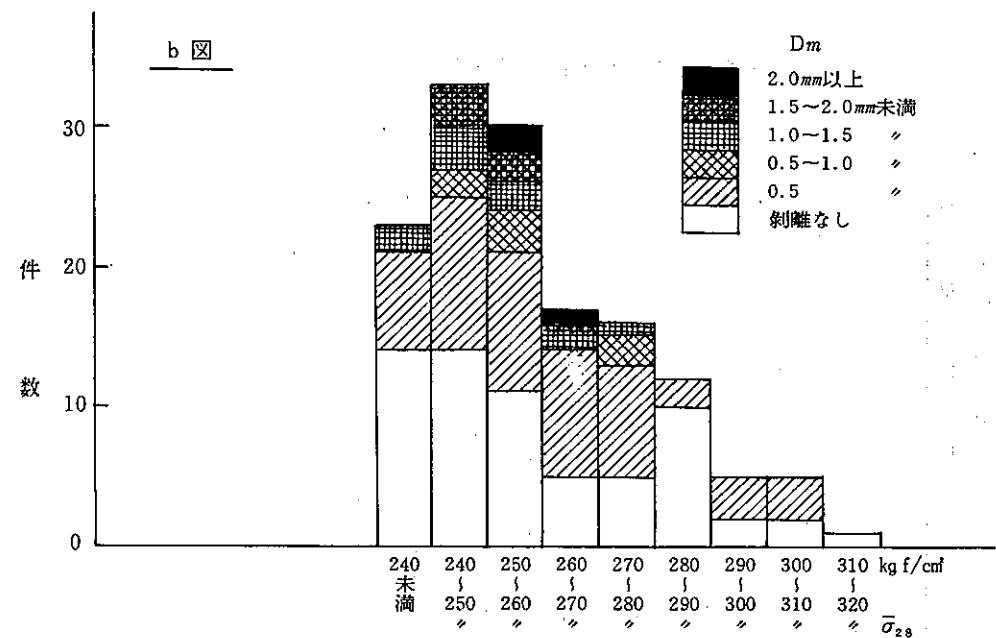


図-7.8 平均圧縮強度による剥離発生状況

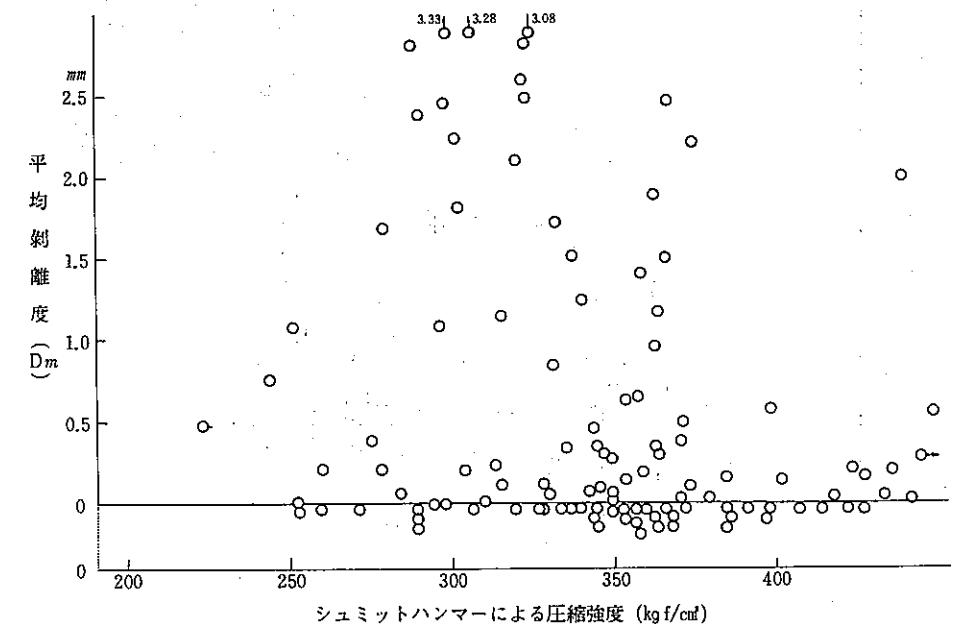


図-7.10 シュミットハンマーによる圧縮強度と平均剥離度(消波ブロック)

(5) 打設後14日間の平均気温

剥離の発生の要因として、打設後の環境条件が大きな影響を持つ。特に混合セメントでは、初期強度の発現が遅いので、風や気温の上昇に伴う乾燥がコンクリートの表層部のモルタルマトリックスの強度、あるいは骨材との付着強度に大きな影響を与えると考えられる。このため表層部分が弱点部になる可能性が大きくなる。これらの打設後の環境条件による剥離程度の差異を調べるために一つとして、打設後14日間の平均気温を用いた。最大、中程度、軽程度の剥離個所の打設後14日間の平均気温と、その実測部分の剥離度をプロットしたのが図-7.11である。平均気温10℃程度、あるいはそれ以下の個所で比較的剥離が多い傾向が見られる。これは低温によるコンクリートの強度発現の停滞（4～5月に打設したものは、夏期に回復するが、10～11月に施工したものは低温の影響を直接受ける）が影響していると考えられる。平均気温が10℃以上になると剥離が少なくなり、再び18℃以上から剥離が多くなる。これは平均気温が20℃前後、あるいはそれ以上になると、乾燥等によってコンクリート表層部の骨材界面あるいはモルタル部分が損傷を受けることになることが一因と考えられる。

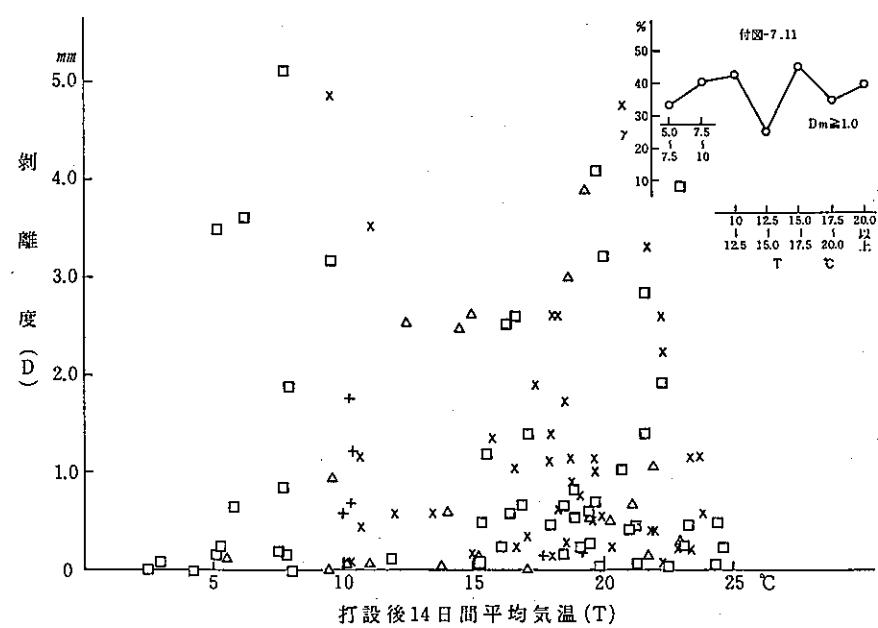


図-7.11 打設後14日間平均気温と剥離度 ($D > 0$)

(6) 打設後14日間の平均湿度

図-7.12に打設後14日間の平均湿度と実測個所の剥離度との関係を示した。平均湿度70%前後と85%前後に剥離の多くなる部分があるが、湿度に対する影響はあまり明確には表われなか

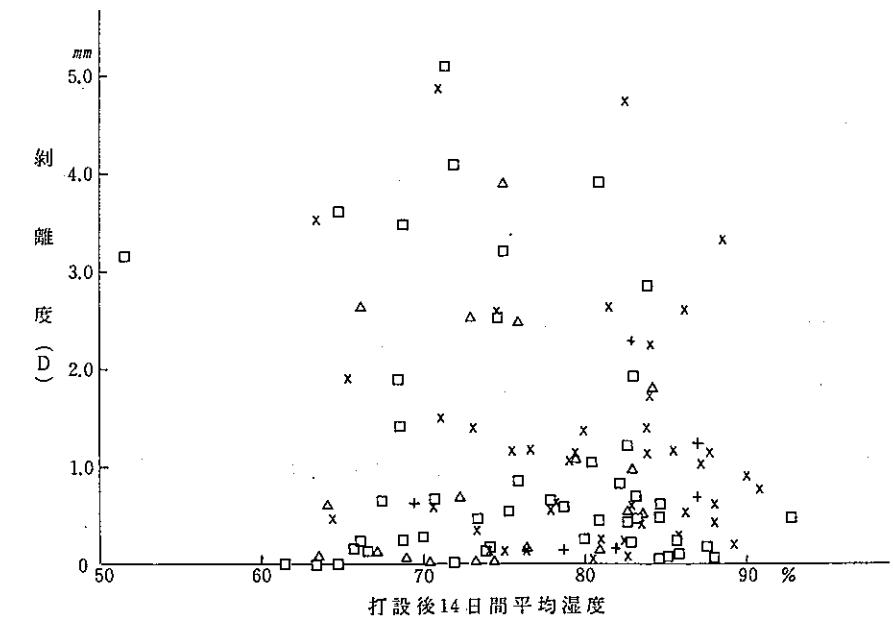


図-7.12 打設後14日間平均湿度と剥離度

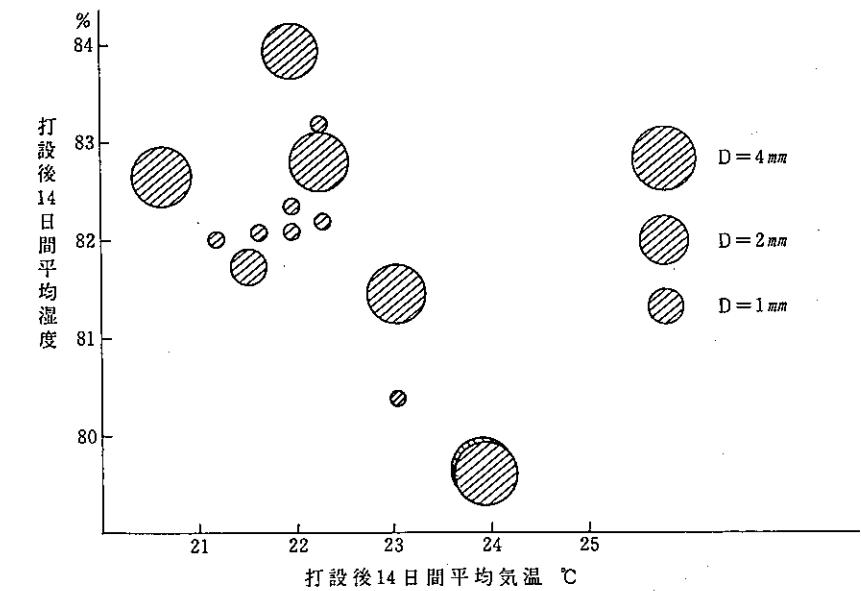


図-7.13 打設後14日間平均気温および湿度と剥離度(石狩新港)

った。その理由は、湿度を観測している気象観測所が少なく、調査個所から離れた観測所のデータを用いなければならず、精度が落ちたことなどが挙げられる。図-7.13は、気象観測所が近くに

あり、調査個所の湿度が比較的精度よくとれ、また剝離のデータも多数とれた石狩新港の一例である。気温が上昇し湿度が低くなると剝離が大きくなる傾向を示している。

(7) 汀線からの距離

凍害発生のメカニズムから見ると、水が凍る時の体積膨張が基本になる。そのため水がコンクリート露出面に供給される程度は、剥離の発生および進行に重要なファクターとなる。海水の供給の度合の尺度として、測定位置と汀線との直線距離(ℓ)を考えた。 ℓ は測定位置の海面(L.W.L)からの垂直距離(ℓ_v)と汀線からの水平距離(ℓ_h)から

によって算定した直線距離を用いた。図-7.14は汀線からの直線距離 ℓ と平均剝離度 (D_m)との関係をプロットしたもので、調査した構造物は $\ell = 5\text{ m}$ 以内の海岸構造物が多いと同時に、この距離内で平均剝離度の大きいものが多い。 ℓ が 5 m を越えると剝離は少なくなり、 ℓ が約 16 m 以上になると剝離はほとんど発生しない。海水の供給が剝離発生の大きな要因であることがわかる。図-7.15(a)(b)は、調査件数を考慮して、平均剝離度 (D_m) の発生する割合を計算したもので、汀線からの直線距離 ℓ が 16 m 以上になると、ほとんど剝離が発生しなくなり、比較的大きい $D_m = 1.0\text{ mm}$ 以上のものは 7 m 以内で多く発生する傾向を示した。

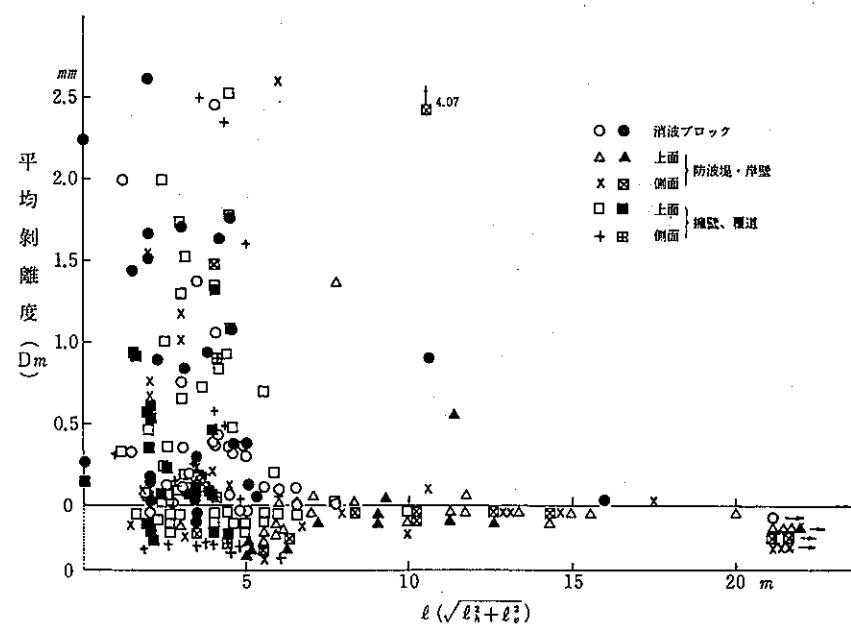


図-7.14 汀線からの直線距離と平均剥離度

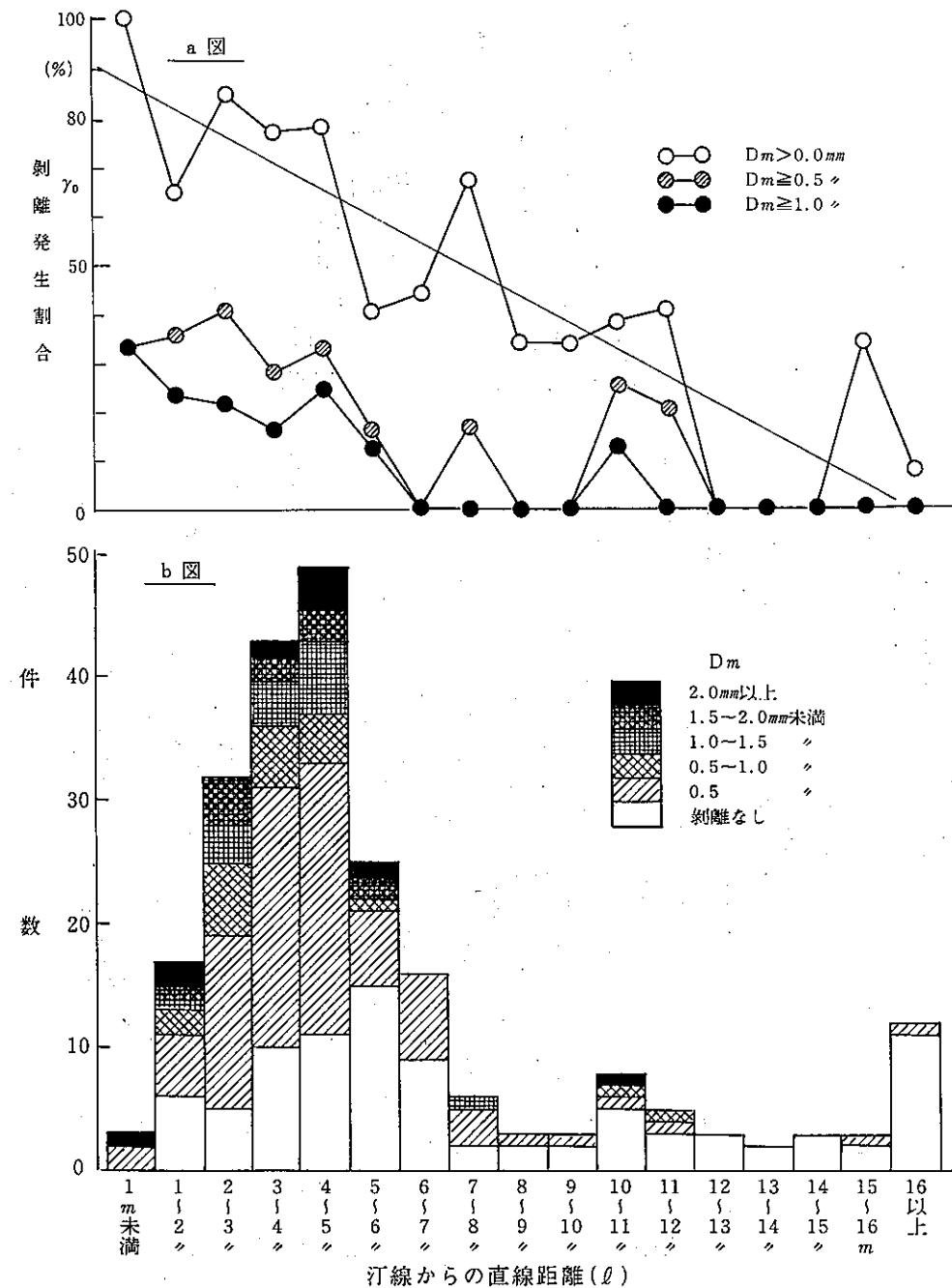


図-7.15 江線からの直線距離と剝離発生状況

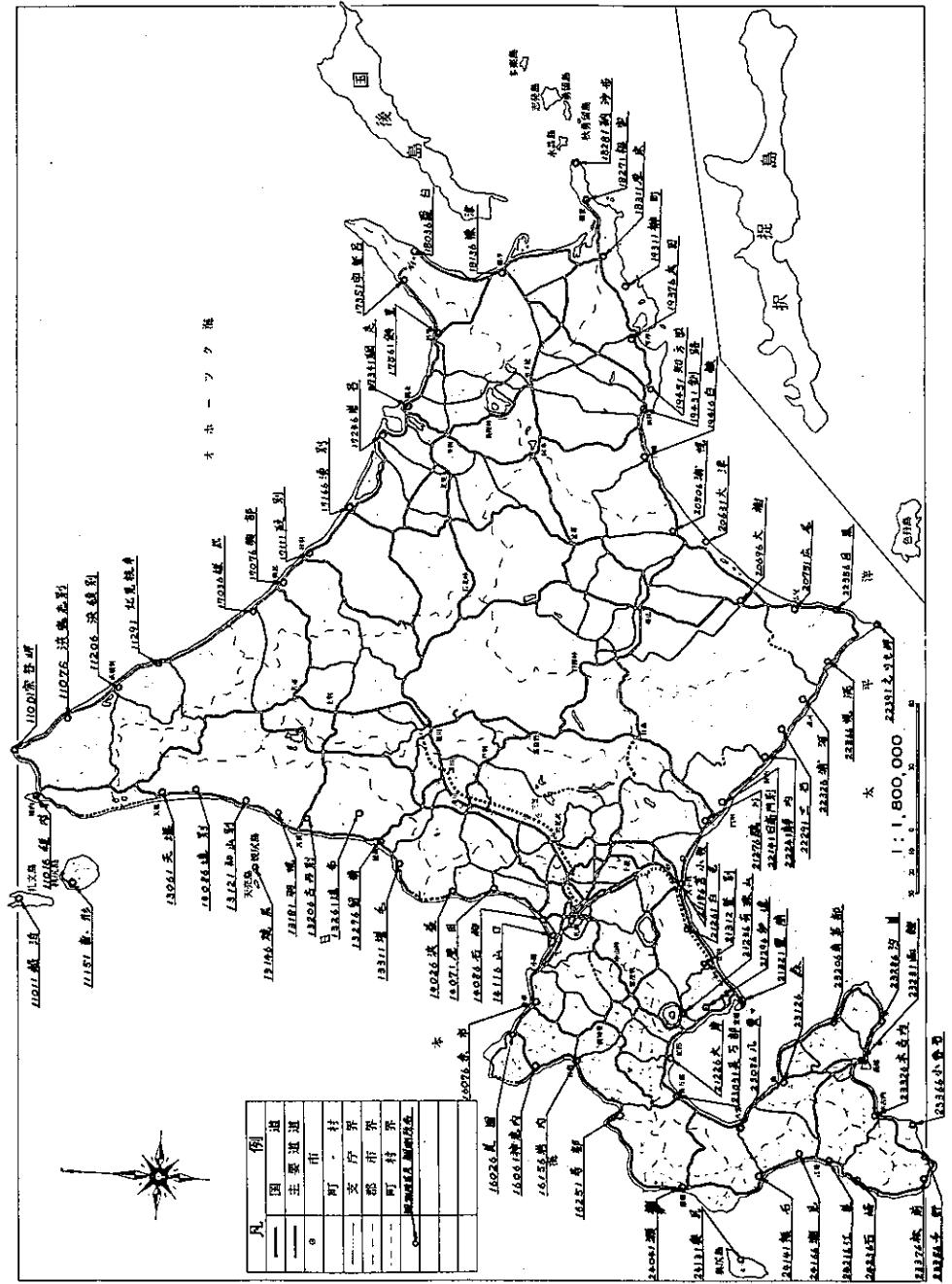


図-7.16 氣象觀測所（北海道の海岸線）

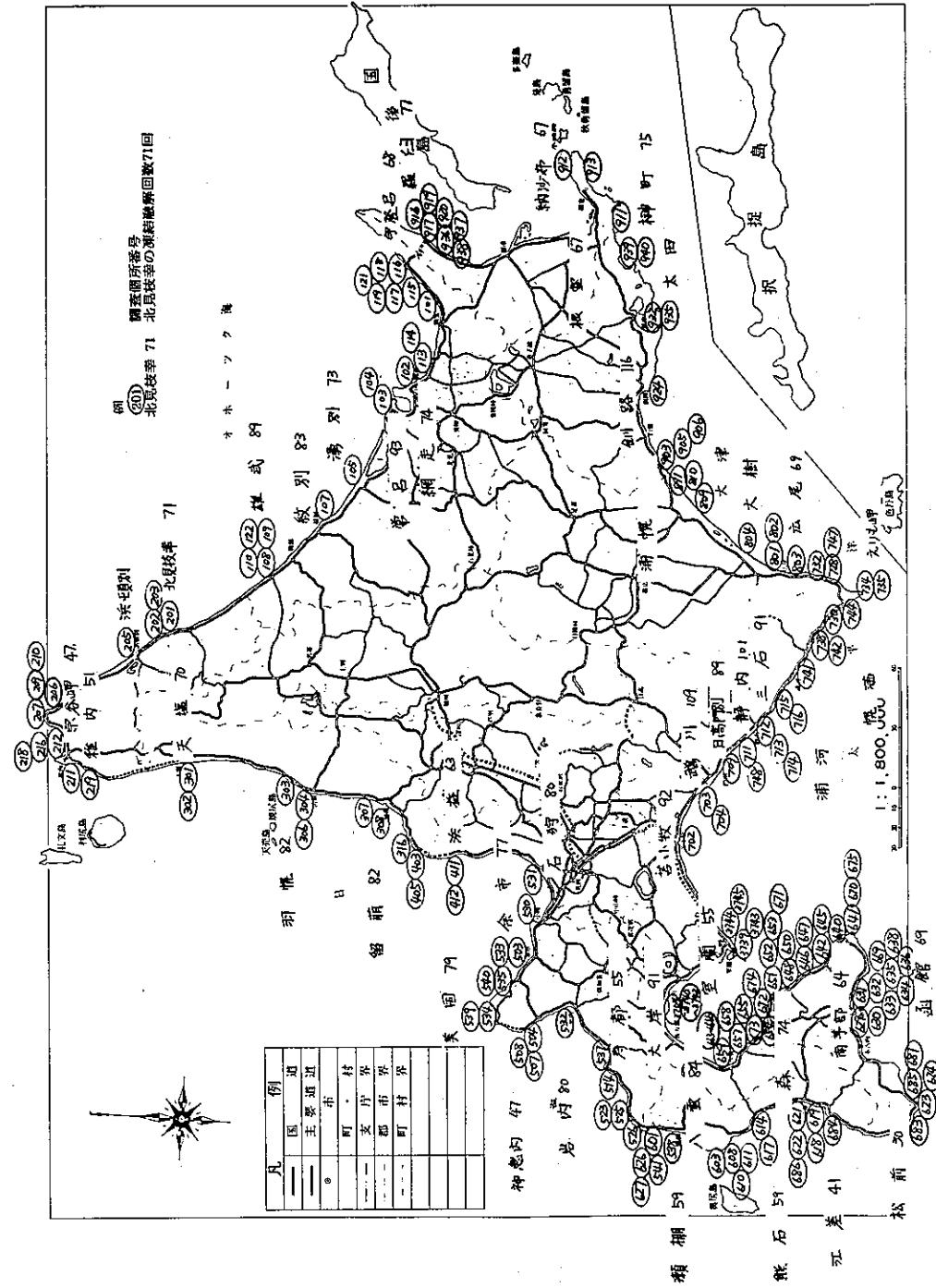


図-7.17 調査個所番号と凍結融解回数

(8) 凍結融解回数

コンクリート構造物内に繰返される凍結融解回数は、気温はもとより、日照、波、積雪、あるいは構造物の方位などの影響を受け、実際には複雑であるが、その内で一番重要な要素である気温によって推定される凍結融解回数をその影響度の指標とした。北海道の海岸コンクリート構造物の年間凍結融解回数は南部では少ないが、北部でも流氷の接岸によって最高気温が -2°C より低くなり融解することが少ないと、凍結融解回数が少くなる場合もある。図-7.16、17は、北海道沿岸の気象観測所および凍結融解回数を示したものである。凍結融解の基準温度を -2°C としたのは海水がほぼ -2°C で凍結融解するからである。図-7.18は、凍結融解回数と平均剝離度(D_m)を示したもので、60サイクルまでは平均剝離度は小さく、60サイクル以上になると急激に剝離が発生し剝離度も大きくなる。さらにサイクルが増加しても、それに伴って剝離度の増加はあまり見られない。これは、打設後に生じた表層部の弱点部が剝離してしまうと、サイクル数が大きくなつても剝離の進行がなくなる傾向にあることを示している。図-7.19は、凍結融解回数の各範囲における剝離発生件数の分布および剝離発生割合を示したもので、図-7.20の付図と同じように、60サイクルを越えると大きな剝離度が発生し始め、サイクルが増加しても剝離度の増加は少ない。図-7.20は、消波ブロックのみを取り上げたもので同じように、上述したような傾向が見られる。

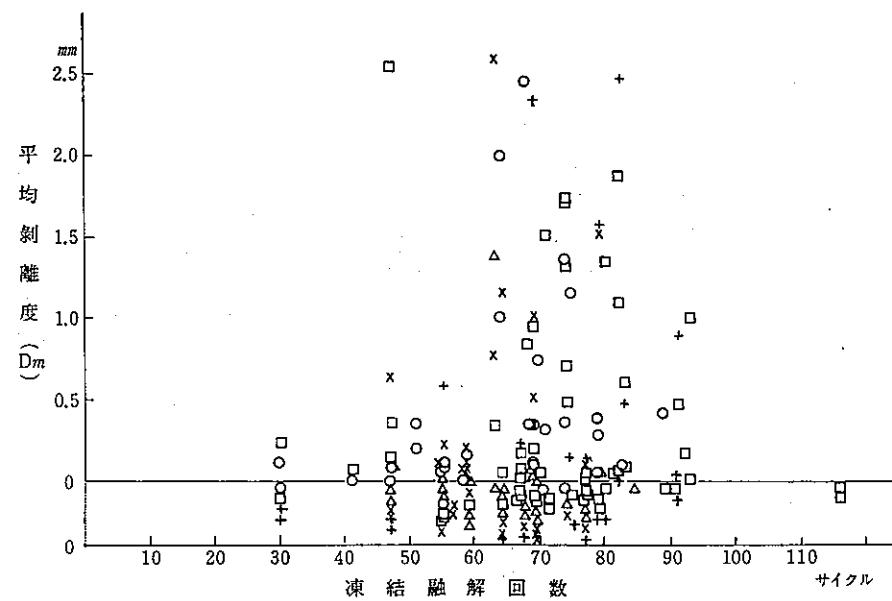


図-7.18 凍結融解回数と平均剝離度

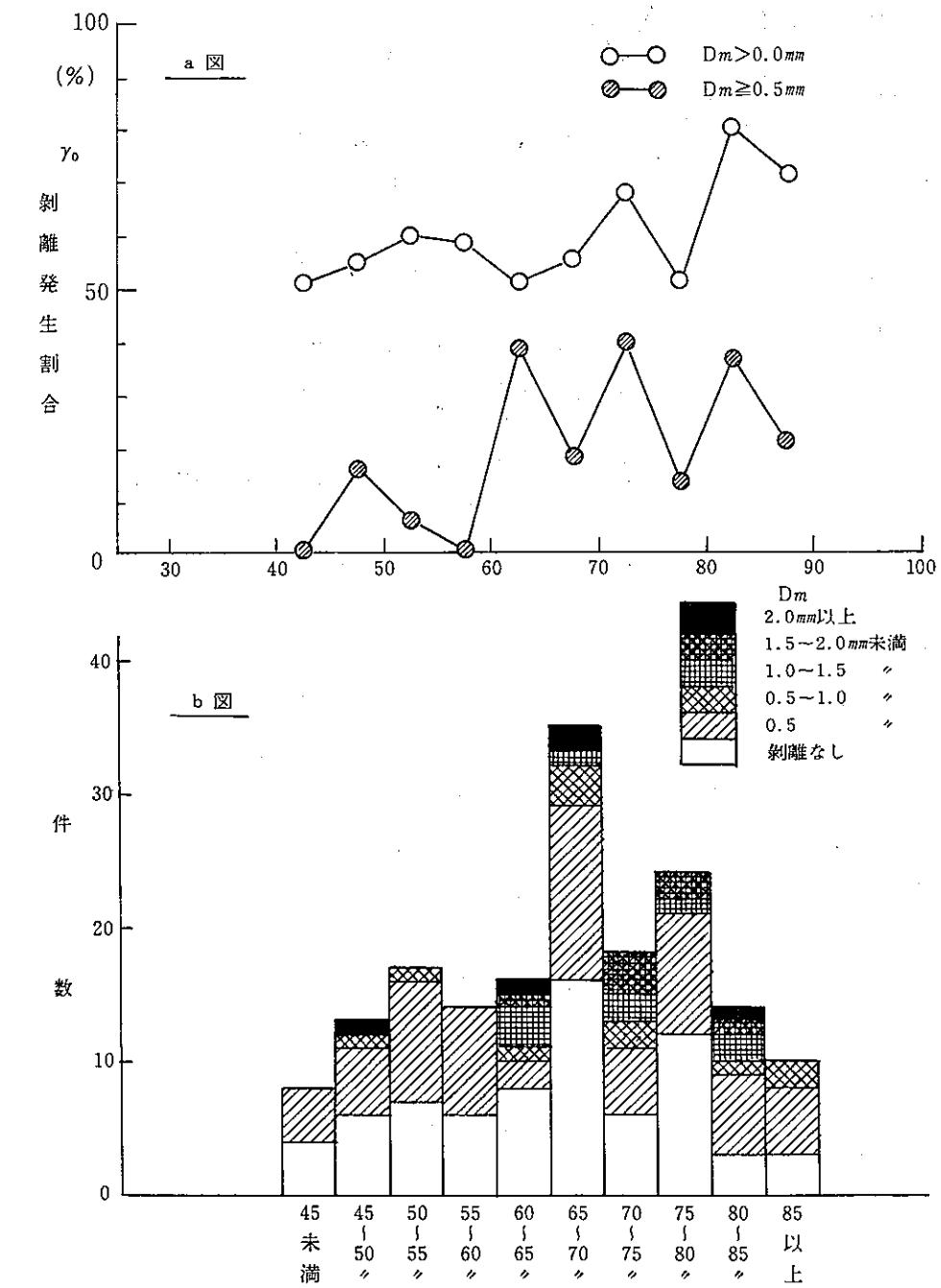


図-7.19 凍結融解回数と剝離発生状況

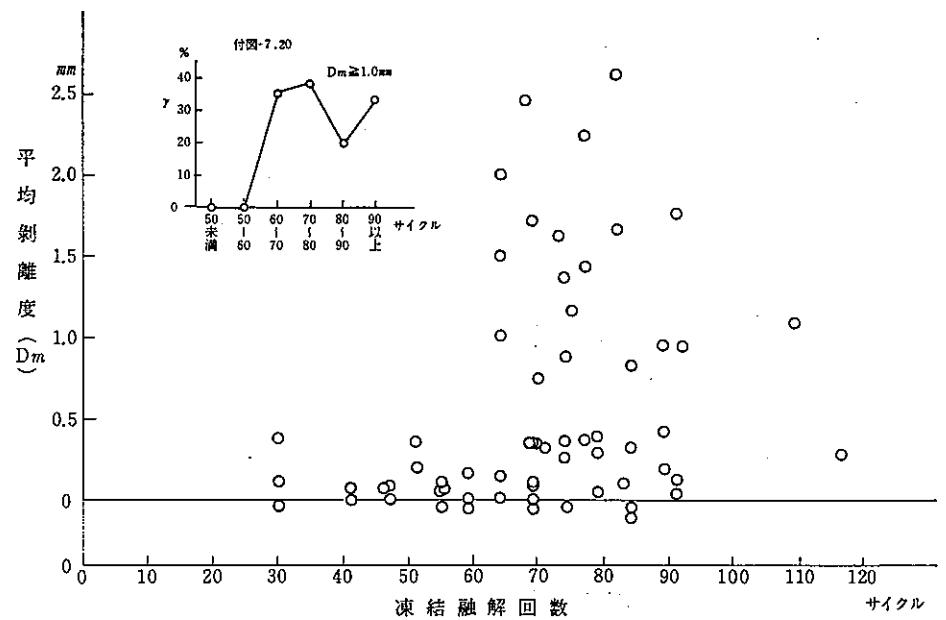


図-7.20 凍結融解回数と平均剝離度（消波ブロック）

8 まとめ

北海道の海岸コンクリート構造物について、施工後一冬経過の凍害による表面剝離を、ほぼ海岸全域について調査（調査個所総数194：消波ブロック65、防波堤・岸壁80、擁壁・覆道49）した。さらに施工後二冬経過の剝離の進行についても小樽、函館、室蘭、帯広地域について調査した。その結果、次のような事がわかった。

(1) 使用セメントの種類は、普通セメントが7%、フライアッシュセメントB種53%、高炉セメントB種が40%であった。

混和剤はA-E剤7.8%、A-E減水剤が2.2%の使用割合であった。

水セメント比を2.5%間隔で調べると、水セメント比の使用範囲は消波ブロックで4.5～5.7.5%未満、防波堤・岸壁および擁壁・覆道で4.5～6.2.5%未満であった。消波ブロックでは4.7.5%～5.0%未満、防波堤・岸壁および擁壁・覆道では5.2.5～5.5%未満が一番頻度が多かった。

(2) 型枠の種類は、消波ブロックでは鋼製が大部分であり、擁壁・覆道では木製が大部分で、防波堤・岸壁では木製および鋼製が半々である。

打設方法はアジテーターから直接に打込むのが一番多く、次いでパケットで、この2方法で大部分を占める。擁壁・覆道においてポンプ施工が21%あった。

脱型日数は3日以内が多く、次いで4～5日で、5日以内が大部分を占めている。

(3) 養生水は、消波ブロックでは淡水が多く、防波堤・岸壁では海水が大部分で、擁壁・覆道では海水、淡水がほぼ半々であった。

養生方法は麻袋・散水が一番多く76%、次いで散水のみが15%であった。

養生日数は6～7日が一番多く、6日以上が約60%を占めていた。3日以内が約20%あり、まだ養生が疎かにされている傾向がある。

(4) 施工後一冬経過後の表面剝離の発生率は、消波ブロックで8.8%、防波堤・岸壁6.9%、擁壁・覆道4.5%であった。全体としての剝離発生率は約6.9%であった。剝離は北海道の海岸全域に発生していた。

(5) 消波ブロックの剝離状況を見ると、最大剝離深さは1.5～4.5mmが大部分を占めていた。

最大剝離度から見ると、比較的小さいものが函館、小樽地域に発生していた。また構造物全体の剝離状況を把握できる平均剝離度から見ると、地域による差異は認められなかった。二冬経過後ににおける剝離は、剝離の進行なしが約50%、新たに剝離が発生したのが約10%、剝離が進行したのが約40%であった。

(6) 防波堤・岸壁の剝離状況を見ると、比較的大きな最大剝離深さ3.0～6.0mmが40%あり、網走地域に多く、剝離深さが小さいのが北海道南部に多い傾向を示した。二冬経過後の剝離では、剝離進行なし60%、新しく剝離が発生したのが5%、剝離が進行したのが約3.5%であった。

(7) 拥壁・覆道の剝離状況を見ると、比較的汀線から離れるので、消波ブロック、防波堤に比較して海水を受けることが少なく、剝離なしが55%と多い傾向を示していた。二冬経過後の剝離を見ると、剝離の進行がないものが約50%、新しい剝離が約15%、剝離が進行したものが約35%であった。擁壁の上面の剝離は少なく、側面の剝離発生の割合が顕著であった。

(8) 粗骨材の品質の評価係数が剝離程度に対して、多少影響がある傾向が見られる。これからのデータの蓄積が必要と考える。

(9) セメント量はモルタルマトリックス強度に関係して重要なファクターである。単位セメント量が290kg/m³以上になると剝離程度はかなり小さくなる。

(10) 水セメント比は、4.8%より小さいと剝離程度が小さく、それ以上であると剝離程度が比較的大きなものが発生し、その水セメント比が多少大きくなっても剝離程度はあまり変化しない。

(11) 標準養生による材令28日の圧縮強度で、280～290kgf/cm²以上から剝離程度が小さくなり、また一冬経過後のショミットハンマーによる圧縮強度では、370kgf/cm²以上あるものは剝離程度が小さい傾向を示した。

(12) 打設後14日間の平均気温は、一つの重要なファクターである。10℃以下では低温による強度発現の停滞、20℃以上になると乾燥等による影響によって剝離程度が大きくなる傾向を示した。

それに対して、14日間の平均湿度の方は観測資料が少なく明確な差異は表われなかった。

(13) 海水の影響は強く、汀線から離れるに従って剥離程度は小さくなる。

汀線からの水平距離と垂直距離による直線距離が、16m以上離れると剥離はほとんど生じない。また比較的剥離程度が大きいのは7m以内である。

(14) -2°Cの気温から算定した年間凍結融解回数が60サイクルを越えると急激に剥離程度が大きくなる。さらにサイクル数が大きな個所でも剥離程度に差があまり認められなかった。

9 参 考 資 料

(1) 総論に関する資料

- 1) Gjørv, O.E.: Durability of concrete structures in the ocean environment, FIP Proc., Concrete Sea Structures, pp. 141~145, 1972.
- 2) 林 正道: 土木構造物の耐久性、セメント協会第30回講習会テキスト pp. 77~91, 1972年8月。
- 3) 近藤連一: 耐海水セメント、コンクリートジャーナル、Vol. 10, №8, pp. 28~31, 1972年8月。
- 4) 小林一輔: 耐海水コンクリート、コンクリートジャーナル、Vol. 11, №7, pp. 18~24, 1973年7月。
- 5) 林 正道: コンクリートの気象作用に対する耐久性、北海道土木技術会コンクリート研究委員会資料 第4号、pp. 1~7, 1974年1月。
- 6) 浜 悅郎: コンクリートの凍害、コンクリート工学、Vol. 13, №8, pp. 33~44, 1975年3月。
- 7) 小村 敏、松本和則、前川 淳: コンクリートの劣化について、コンクリート工学、Vol. 13, №10, pp. 25~37, 1975年10月。
- 8) 林 正道: コンクリートの耐久性について、土木学会北海道支部講習会テキスト、pp. 1~14, 1976年12月。
- 9) 林 正道: コンクリートの気象作用に対する耐久性、コンクリート製品、№269, pp. 19~30, 1977年8月。
- 10) 後藤幸正: コンクリート構造物の耐久性—土木—、コンクリート工学、Vol. 15, №9, pp. 5~7, 1977年9月。
- 11) 関 博、上田 茂: 構造物の劣化と耐久性向上の対策—港湾海洋構造物—、コンクリート工学、Vol. 15, №9, pp. 46~52, 1977年9月。
- 12) 太田利隆: コンクリートの耐久性(1)—凍結融解に対する抵抗性— 道路とコンクリート、

№47, pp. 34~39, 1980年3月。

13) 関 博、森 好生、大即信明: 港湾構造物とコンクリート、セメントコンクリート、№401 pp. 28~36, 1980年7月。

14) 太田利隆: コンクリート構造物の耐久性—凍害の現況と問題点—、土木学会昭和55年度全国大会研究討論会講演概要、№5, pp. 1~5, 1980年9月。

(2) 被害例、被害調査に関する資料

- 1) Idorn, G.M.: Research activities concerning the durability of concrete in seawater, Final report, RILEM Int. Symp. on Durability of Concrete, pp. 351~355, 1961.
- 2) 林 正道: 土木構造物の凍害状況、コンクリートジャーナル、Vol. 4, №11, pp. 56~61, 1966年11月。
- 3) ACI Committee 201: Guide for making a condition survey of concrete in service, ACI Journal, Vol. 65, №11, pp. 905~918, Nov. 1968.
- (訳) コンクリートの被害調査指針、コンクリートジャーナル、Vol. 7, №12, pp. 38~45, 1969年12月。
- 4) 柳田 力: コンクリートの耐久性、被害例と対策—各種土木構造物について—、セメントコンクリート、№308, pp. 102~107, 1972年10月。
- 5) Lauer, K.R.: A world-wide review of reference standards developed for the visual observation of concrete, Behavior in service of concrete structures, Colloquium Inter-Association IABSE-FIP-CEB-RILEM-IASS, Preliminary Reports, pp. 207~217, June, 1975.
- 6) 今井益隆: コンクリート構造物の凍害調査、コンクリート工学、Vol. 14, №11, pp. 16~22, 1976年11月。

(3) 海水の作用を受けるコンクリートの凍害、コンクリートの表面剥離に関する資料

- 1) Kennedy, T.B., Mather, K.: Correlation between laboratory accelerated freezing and thawing and weathering at Treat Island, Maine, ACI Journal, Vol. 25, №2 pp. 141~172, Oct., 1953.
- 2) Tyler, I.L.: Long-time study of cement performance in concrete, ACI Journal, Vol. 31, №9, pp. 825~836, Mar., 1960.
- 3) Lyse, I.: Durability of concrete in sea water, ACI Journal, Vol. 32, №12,

- 4) Goca, W.: The durability of hydrotechnical concretes made with some Polish cements, Final report, RILEM Int. Symp. on Durability of Concrete, pp. 8～20, 1961.
- 5) Gjørv, O.E.: Durability of reinforced concrete wharves in Norwegian harbors, the Norwegian Committee on Concrete in Sea Water, Ingeniorforlaget, 1968.
- 6) 須藤儀一、秋葉徳二、新井政和:セメント硬化体の凍結融解抵抗性におよぼす微細組織の影響、セメント技術年報 XXVII, pp. 62～68, 1974.
- 7) 須藤儀一、秋葉徳二、新井政和:セメント硬化体の凍結融解に関するDTA方法による研究、セメント技術年報 XXIX, pp. 78～82, 1975.
- 8) 前川静男、今井益隆:養生程度がコンクリートの耐久性に与える影響、セメントコンクリート、No. 345, pp. 22～29, 1975年11月。
- 9) 洪 悅郎、長谷川寿夫:耐硫酸塩セメントを用いたコンクリートの凍結融解抵抗性について、セメント技術年報 XXXIV, pp. 304～307, 1978年。
- 10) 田畠雅幸、洪 悅郎、鎌田英治:防錆剤を使用したコンクリートの耐凍害性に関する実験、第1回コンクリート工学年講論文集, pp. 37～40, 1979.
- 11) 林 正道、鮎田耕一:フライアッシュセメントコンクリートの諸性質について、セメント技術年報 33, pp. 261～264, 1979.
- 12) 佐伯 昇、鮎田耕一、藤田嘉夫:コンクリートの表面剥離に対する耐力についての2、3の実験、セメント技術年報 33, pp. 306～309, 1979.
- 13) 佐伯 昇、高田宣之、藤田嘉夫:コンクリート表面部の劣化についての2、3の実験、第2回コンクリート工学年講論文集, pp. 345～348, 1980.
- 14) 鮎田耕一、林 正道:寒冷地の海岸コンクリート構造物の表面剥離について、セメント技術年報 34, pp. 310～313, 1980.
- 15) 佐伯 昇、鮎田耕一、桜井 宏:夏期に曝露されたコンクリートの表面剥離耐力に関する2、3の実験、セメント技術年報 34, pp. 345～348, 1980.
- 16) Performance of Concrete in Marine Environment, ACI Special Publication, SP-65, 1980.

あとがき

海岸コンクリート構造物の凍害による表面剥離については、まだ未解決の問題が数多く残されている。しかし、今回の調査によって、北海道全域にわたる実態と表面剥離の発生要因の概要を知ることができた。主なものは

- (1) 単位セメント量が $290\text{ kg}/\text{m}^3$ 以上になると剥離程度は小さくなる。
- (2) 水セメント 48% 以下では剥離程度は小さい。
- (3) 汀線から離れると剥離程度は小さくなり、 1.6 m 以上になると剥離はほとんど生じない。

などである。この報告書の成果が、表面剥離の進行についての資料を更に蓄積して発展し、耐久的な海岸コンクリート構造物を造るための一助となれば幸いである。

最後に、資料の収集あるいは調査箇所の案内、説明などをしていただいた北海道開発局、北海道土木部および国鉄の方々のご協力に対し深くお礼申し上げます。また、調査員としてご尽力下さった北海道開発局土木試験所、北海道土木部およびセメント会社の方々に深くお礼申し上げます。

北海道土木技術会コンクリート研究委員会

委員長 藤田嘉夫（北海道大学）

海岸コンクリート構造物の凍害（表面剥離）調査小委員会

委員長	藤田嘉夫	（北海道大学）
幹事	佐伯昇	（北海道大学）
委員	岩淵俊次	（日鉄セメント）
	長島弘	（札幌アサノコンクリート）
	戸島英之	（北海道開発局）
	黒川義雄	（北海道開発局）
	水野雄三	（北海道開発局）
	太田利隆	（北海道開発局）
	佐藤英行	（北海道）
	神山勝博	（北海道）
	橋本恒郎	（日本国有鉄道）
	鮎田耕一	（北見工業大学）
	前川静男	（苫小牧工業高等専門学校）