

[1097] 道路橋におけるコンクリートの凍害

正会員 藤原 忠司 (岩手大学 工学部)  
 正会員 ○ 河村 廣次 (アール・シー構造設計)  
 帷子 國成 (岩手大学 工学部)

1. まえがき

コンクリート構造物の耐久性を損なう原因のうち、寒冷地において最も問題となるのが、凍結融解作用による劣化(凍害)であるのは疑いない。凍害に関する研究はこれまでも数多く行なわれ、耐凍害性に優れたコンクリートとする要件が十分に判明しているにもかかわらず、その発生が跡を絶たないのは、研究の成果が構造物の設計・施工に正しく反映されていないのも大きな要因であると推察される。また、凍害は地域性の強い問題であり、それぞれの被害には、固有の発生条件が絡んでいることも予想される。これらの点を明確にするためには、実構造物を対象とした被害調査が必要となるが、体系的な調査の例はきわめて少なく、資料の蓄積が十分であるとは言い難い。

本調査では、道路橋を対象として、コンクリートの劣化状況を明らかにしようとした。被害の程度を数量的に表示し、それと気象条件等との関連から、凍害の地域的な特性を求めようと試みている。また、個々の被害例から、耐凍害性を考慮した道路橋設計上の留意点も探ってみた。

2. 調査概要

調査したのは、岩手県西部に存在する 102 の道路橋である。橋の概要を記録するとともに、標高、橋長および橋軸の方位等を実測し、さらにシュミットハンマを用いて地覆コンクリートの強度を推定した。劣化の状況については、橋のあらゆるコンクリート部分を目視観察し、その程度や特徴を記録していった。とくに、地覆部分については、観察を詳細に行い、図-1に示すような、劣化状況図を作成した。これは、被害の程度を数量化するためであり、全ての道路橋に存在し、気象作用の影響を受けやすく、目視観察が容易な地覆部分でもって、各橋の被害程度を代表させることとした。

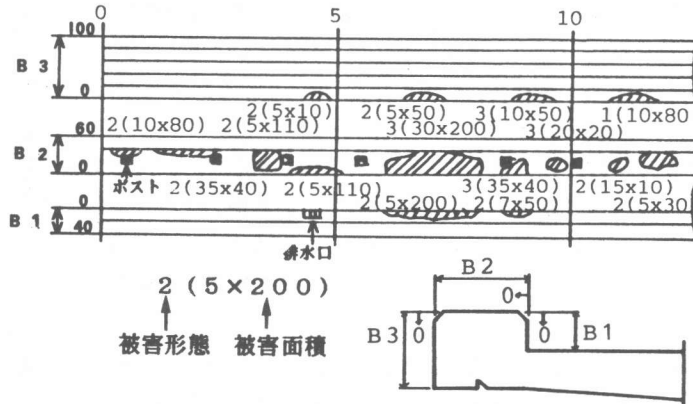


図-1 劣化状況図

図中の被害形態は、表-1に従って分類する。また、各被害形態の面積を集計し、それぞれの面積を、地覆6面の全体の面積に対する割合(%)で表示した。これら被害形態と面積割合との組合せによって、それぞれ被害値を表-2のように定める。たとえば、中度の剥離(形態-3)が1.1~10%であれば、被害値を3とし、各被害形態の合計を当該橋梁の被害値とした。

表-1 被害形態の分類

程度	被害形態
1	ひび割れ
2	軽度の剥離(表面のモルタル部分が損失。深さ5mm程度以下。)
3	中度の剥離(粗骨材間のモルタルも損失。深さ5~20mm程度。)
4	重度の剥離(粗骨材も損失。深さ20~50mm程度。)
5	崩壊(粗骨材とモルタルが容易に剥落。深さ50mm程度以上。)

表-2 被害値

被害値	形態	1	2	3	4	5
1	面積	0.1~5.0				
2		5.1~15.0	0.1~5.0	0.1~1.0		
3		15.1~	5.1~15.0	1.1~10.0	0.1~5.0	0.1~1.0
4			15.1~	10.1~	5.1~15.0	1.1~10.0
5					15.1~	10.1~

### 3. 被害と気象条件等との関連

地覆を対象として求めた被害値によれば、調査したうちで57%の橋梁がなんらかの被害を受けており、中には、面積にして50%以上凍害が発生している地覆も見られた。したがって、凍害は、当地域にとって極めて深刻な問題と言える。

図-2は、被害形態別の面積の例を示している。

受けている被害の形態は各橋梁によって特徴があり、それらは図のように類別できると考えられる。すなわち、(a)は、ひびわれの発生が多くみられるタイプであり、Dひびわれ、縦横ひびわれ、長手方向ひびわれ等様々なひびわれが発生している。(b)では、ひびわれとともに、スケーリングの発生も見られる。このスケーリングは、ひびわれが進展したものと、はじめからこの形態で発生するものとの二通りがあるように観察された。この例では、スケーリングの程度が軽い方に分布しているが、(c)では、重い方の面積割合が高い。おそらくは、(b)のようなタイプが進行して、次第に(c)のタイプに移行すると思われる、症状としては(c)の方が明らかに厳しい。

被害値と橋梁架設後の経過年数との関係を示したのが、図-3である。経過年数25年を超える橋梁は除外しているが、これは、施工方法やA E剤に対する認識が今日と異なるであろうことを考慮したためであり、これに該当する17の橋梁は以下の解析で対象外となる。

図より、経過年数の大きい橋梁ほど、被害が大きい傾向は明かであるが、ばらつきは極めて著しい。ただし、経過年数5年毎に被害値の平均を求めてみると、ある一定の傾向で増加しており、次の式で近似できる。

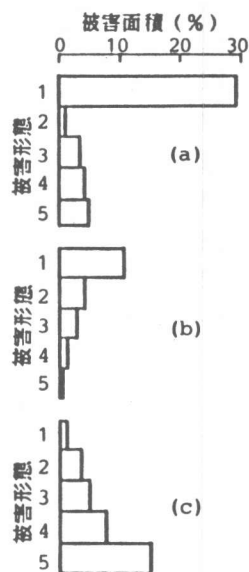


図-2 被害形態の例

$$Y = aX^b$$

Y : 被害値、 X : 経過年数

a = 0.0030, b = 2.5829

ここでは、個々の橋梁における被害の経年変化が、上式と同一の形態および同一の指数 b をもつ曲線であると仮定し、該当する経過年数と被害値を上式に代入して、それぞれの係数 a を求めたうえで、経過年数 10 年の被害値を算出した。経過年数を同一とすることで、各橋梁の被害が比較可能となる。

この 10 年換算被害値を用いて、凍害と気象条件との関連を検討してみる。気象資料としては、気象月報の昭和 57~62 年の 5 ケ年間（6 冬）の平均を用い、岩手県西部に存在する気象観測所 6 地点について、凍害に関連すると思われる資料を整理した。また、調査した橋梁を、これらの気象観測所を中心として地域分けし、各地域に存在する橋梁の被害値を平均して、その地域の被害程度とする。

図-4 は、凍結融解サイクル数と被害値との関係を示している。サイクル数は、コンクリート中の水分が外気温  $-1^{\circ}\text{C}$  を境として凍結融解すると仮定して、1 日の最高・最低気温の気象資料から求めており、1 冬当りの値である<sup>(1)</sup>。

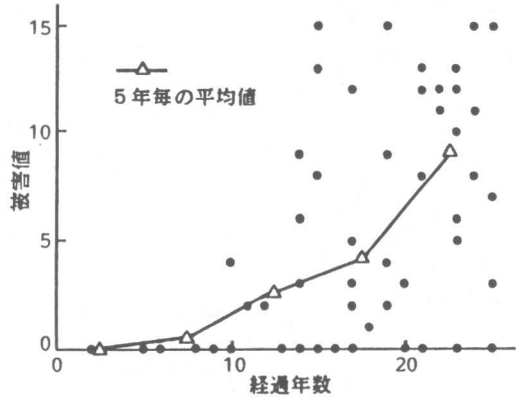


図-3 経過年数と被害値

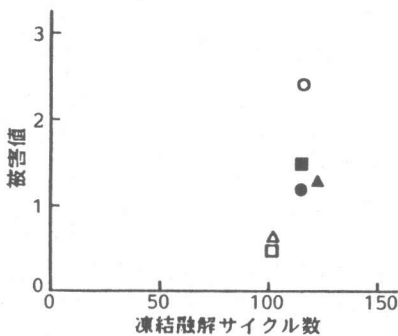


図-4 凍結融解サイクル数と被害値

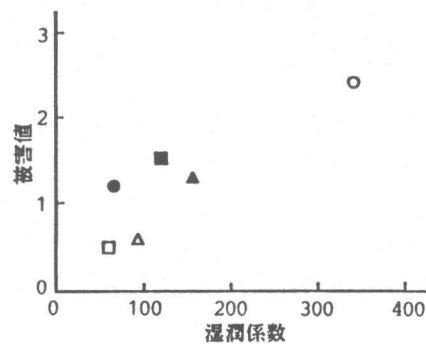


図-5 湿潤係数と被害値

各気象観測所における凍結融解サイクル数はほぼ同じような値であるが、被害値には各地点で大きな差があり、凍結融解サイクル数のみでは、被害値との明確な対応がみられない。

次に、コンクリート中の湿潤の程度にかかわると予想される冬場（最低気温に零下が現われる月を合計した期間）の降雨・降雪量と被害値との関係を求めたのが、図-5である。凍害には降雪の影響が大きいと思われるため、降雪量を 2 倍して降水量との和を求め、それを湿潤係数と表示している<sup>(1)</sup>。

各地域の湿潤係数の差は比較的大きく、それが被害の程度に密接に関連していることが認められる。被害のもっとも著しい地域は豪雪地帯に位置しており、凍害の発生に対し、きわめて厳しい環境下にあると言える。

凍結融解サイクル数に湿潤係数を乗じた値（凍害危険値）と被害値との関係を図-6に示す。

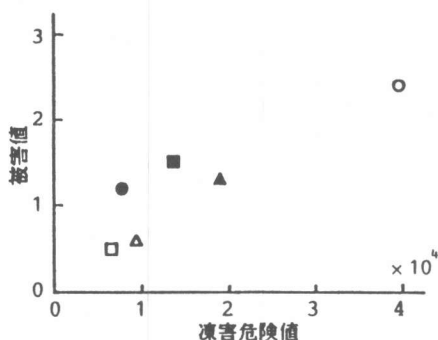


図-6 凍害危険値と被害値

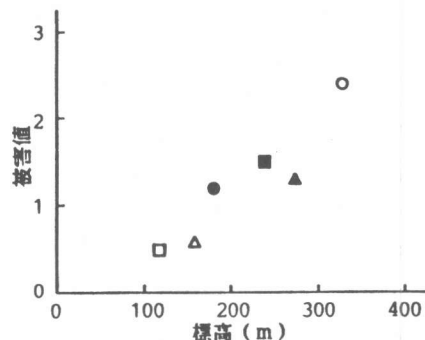


図-7 標高と被害値

両者には、一定の関係が成立しており、気象条件から凍害発生の危険性を知るには、ここで示した凍害危険値がひとつの有益な指標になると期待される。

土木学会コンクリート標準示方書では、コンクリートの耐凍害性をもととして水セメント比を選定する場合、気象作用の激しい地域とそうでない地域との二つに区分して、その最大値を規定している。本調査で対象とした地域は、この分類に従えば、全てが激しい気象作用の範囲に入ろうが、各地域の被害の程度には比較的著しい差がある。したがって、単に二つの地域に分けるよりは、凍結融解日数や降雪量のように入手の比較的容易な気象資料から求まる凍害危険値のような指標で地域を細分化するのが、より望ましい対応であると考えられる。

被害値を、標高との関連でとらえたのが、図-7である。

ほぼ一定の関係が見受けられ、凍害の危険性を標高で表示できる可能性のあることを示している。

図-8は、地覆の方位別の被害値を示している。たとえば、橋軸方向が南北であれば、地覆は東・西に面していると考える。たいていは、東西南北の中間に面しているが、それらは、4方位の最も近い面に分類した。

地覆全体で見れば、方位による差はほとんど認められない。これに対し、地覆の外側の面にのみ着目すれば、南向きおよび西向きの面の被害が大きい。これは、これらの面が日射による影響を大きく受け、コンクリート内部の凍結水が融解してサイクル数が増えることや融雪による水分供給が著しいためであると推察される。ただし、中には北向きの被害が激しい例も見られ、方位差を単純に断定できない面がある。

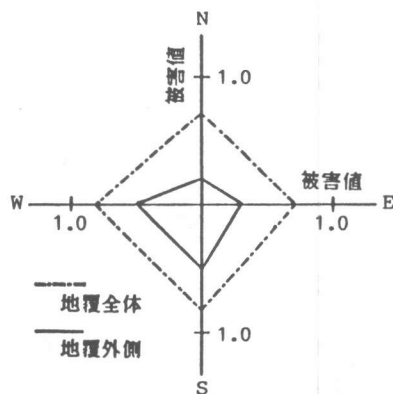


図-8 方位別の被害値

#### 4. 耐凍害性からみた設計上の留意点

前章では、凍害の状況を数量的に把握し、被害の程度を気象条件等との関連で捉えてみた。対象としたのは、地覆部分のみであるが、調査は他の部分についても行っている。ただし、これらは数量的評価が難しいため、個々の被害例に着目してみることにする。

凍害の原因としては、配合や材料を含めた施工上になんらかの欠陥があったためと推察される

例が多いように思われたが、中には、設計上の配慮により、凍害の発生を防ぐことができたと思われる例も存在していた。現行の構造物設計基準類では、耐凍害性への配慮が薄い傾向は否めない。そこで、耐凍害性を考慮した道路橋設計上の留意点を探ることに重点をおいてみる。

橋面上を流れる水は、速やかに、かつ円滑に橋の下に導かれなければならない。そのためには、橋面舗装に適当な勾配をつけるとともに、目詰りのしにくい排水口を設ける必要がある。

地覆は被害の著しい部分であり、この箇所に凍害が発生すれば、走行上最も重要な高欄を支える機能が損なわれる恐れがある。地覆には、高欄のある箇所に収縮ひび割れが発生し、それが凍害の誘発要因となっている例が多い。たとえば、図-9の如く、長手方向の用心鉄筋を増やせば、収縮ひび割れを低減でき、さらには凍害発生後の耐力も確保できて、高欄の支持に大いに役立つと思われる。同図のように、地覆部分を金属板で覆うのも有効な方法であり、現に跨線橋などで、このような保護対策が見受けられる。

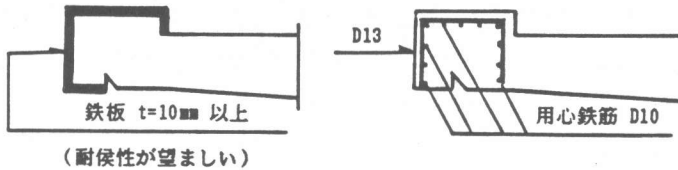


図-9 地覆の補強例

橋面から流れ伝わる水は、地覆や床版の側面を濡らし、さらには桁まで伝わって、それらに凍害の発生を招く恐れがある。少なくとも、側面を伝わる水はそのまま落下するようにし、橋の下面にまで回り込むことのないように配慮しなければならない。たとえば、PC桁では、図-10の(b)のような地覆の形状とし、桁に水が伝わらないようにすべきであると思われる。また、写真-1の例では、床版が桁と鈍角に交わっているため、上からの水が桁まで到達して、鉄筋が露出するほどの著しい劣化を招いており、このような構造も適切でない。水が桁まで回り込まないよう、地覆あるいは床版の下面には、水切りを設ける必要があるが、この水切りも含め、地覆および床版の下面は、図-11のような形状が望ましいと考えられる。

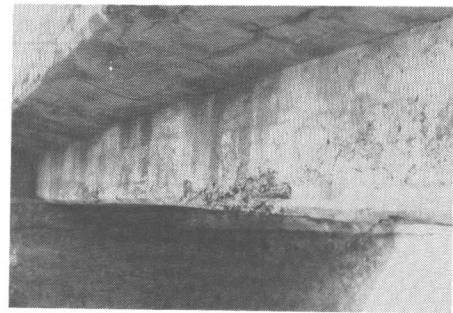


写真-1 桁の被害

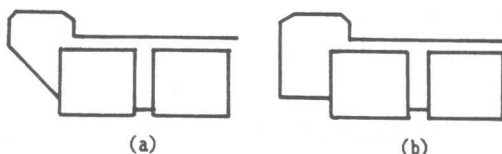


図-10 地覆断面の形状

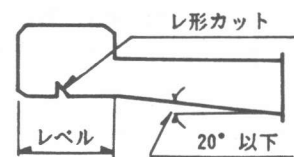


図-11 地覆下面の形状

橋台や橋脚では、雪の溜りやすい上面に凍害の発生例が多い。とくに、ジョイント部の隙間の下や橋の幅員から外側に突き出ている箇所に著しい凍害の発生が見受けられる。このような部分では、上面に勾配をつけて積雪しにくい構造とするか、図-12のような保護対策が必要であろう。

橋台では、写真-2のように、隅角部にも、凍害が頻発しており、図-13のような現行よりもやや大きめの面取りを設ける必要があると思われる。

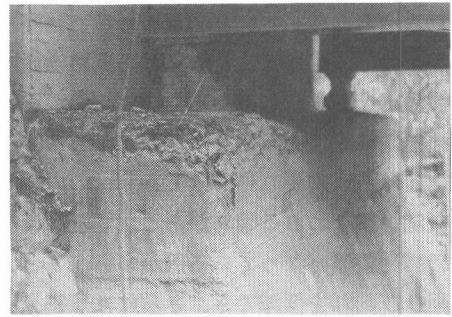


写真-2 橋台の被害

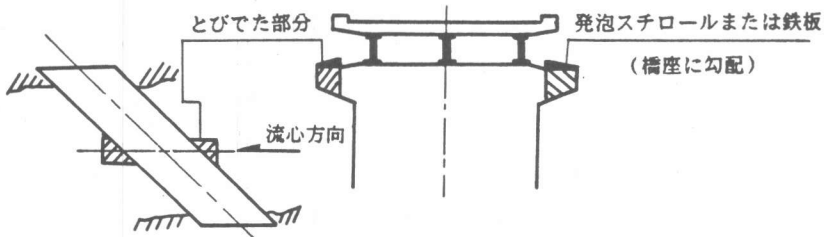
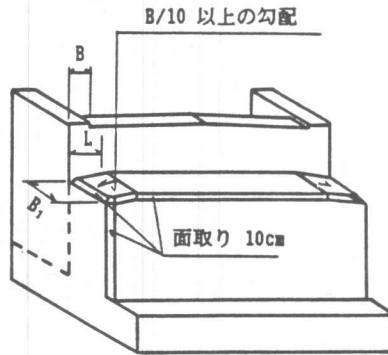


図-12 橋脚の補強例



B: 現行地覆幅  
 $B_1$ : 現行橋座幅+面取り  
 L: B 以上必要

図-13 橋台の面取り

## 5. あとがき

本調査により、凍害の発生は気象条件等に大きく関わること、設計上の配慮によって防げる被害もあることなどが判明したが、凍害の地域的な特性や防止対策上の留意点をより明確にするためには、より広範囲な調査の蓄積を要すると思われる。

終わりに、本調査に協力戴いた佐藤幸喜氏（建設省）に深甚の謝意を表します。

〈参考文献〉

- 1) 長谷川寿夫：コンクリートの凍害に及ぼす外的要因の影響と凍害危険度の表示法、セメント技術年報、29、1975、pp. 245～248