

# 道路橋におけるコンクリートの凍害とその防止に関する構造細目

藤原忠司\*・帷子國成\*\*・河村廣次\*\*\*

耐久的なコンクリートを確立するうえで、実構造物から学ぶべき点は多いと考えられる。本研究では、岩手県内に存在する道路橋を対象として、コンクリートの凍害を調査した。その結果、被害の程度は、橋梁の部位によって異なり、標高や方位等にも関連していることが判明した。設計上の細心な注意により防止できたと思われる被害例も少なくない。この観点から、凍害を防止するための構造細目の例を数多く提示している。

**Keywords :** durability design, structural detail, road bridge, freezing and thawing

## 1. まえがき

寒冷地において、コンクリート構造物の耐久性を損なう主因が凍害であるのは疑いなく、土木学会の「コンクリート構造物の耐久設計指針(試案)<sup>1)</sup>」(以下、耐久設計指針と略称)でも、凍害は重要な検討項目として位置付けられている。構造物の耐久性確保を目指したこの耐久設計指針の基本的概念は、コンクリートの有する耐久性能が被害をもたらす劣化外力を上回るように設計しようとするもので、その具体的方法も示されているが、内容を吟味すれば、検討を要する余地が多々残されていると思われる。

たとえば、耐久性能に関しては、耐久性に影響を与える個々の要因の影響度を定量的に評価してポイント化した耐久指数を定義している。材料、施工、設計に関して、多岐にわたる要因が網羅されており、それを数値化した耐久指数は、たしかに構造物の耐久性能を総合的に表示していると言える。しかしながら、劣化は時として、僅かな隙をついて発生する。そのため、適切な耐久性能を確保するためには、細心の配慮を要する。この点、耐久設計指針の耐久指数に盲点がないとは言いきれず、詳細な検討が必要であろう。この検討により、耐久性向上のための新しい方法が見出される可能性もある。

本研究では、岩手県内に存在する道路橋を対象として、コンクリートに実際生じている凍害の実体を把握し、この結果をもとに、耐久性能向上のための方法を、主として構造細目の観点から検討した。実構造物はいわば生きた教材であり、耐久設計を真に確立する上で、学ぶ点は多いと思われるにもかかわらず、体系的な調査の例はほ

表—1 被害形態の分類

被害形態	
1	ひびわれ
2	軽度の剝離(表面のモルタル部分が損失、深さ5mm程度以下)
3	中度の剝離(粗骨材間のモルタルも損失、深さ5~20mm程度)
4	重度の剝離(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剝落、深さ50mm程度以上)

表—2 被害面積の分類

面積	
a	部分的(5%程度以下)
b	顕著(5~15%程度)
c	広範囲(15%程度以下)

表—3 被害程度の分類

形態	面積		
	a	b	c
1	軽度	軽度	中度
2	軽度	軽度	中度
3	軽度	中度	重度
4	中度	重度	重度
5	中度	重度	重度

とんど存在しない。したがって、実構造物に起きている事象に照らし合わせながら、耐久設計の在り方を探る点に本研究の特徴がある。

## 2. 調査概要

調査の対象としたのは、岩手県内に存在する道路橋であり、その数は564に及ぶ。ただし、これは地覆部分に着目した調査の数であり、橋のあらゆるコンクリート部分を対象としたのは、このうち382橋である。

被害の程度を数値的に把握するため、目視観察によって、被害形態とその面積を分類した。同一人が観察を行っており、分類に個人差は含まれない。

形態の分類は表—1に従い、表中の数字の多いほど、被害は重いと考える。ひびわれはその程度により、剝離よりも重い被害と評価すべき場合もあり得る。しかし、観察によれば、ひびわれが先行し、それが剝離に進展したと思われる例が多いこと、凍害によるひびわれは総体的に狭い幅で浅いものが多いことなどの理由により、ここではひびわれを最も軽い被害とした。多くの場合、着

\* 正会員 工博 岩手大学教授 工学部建設環境工学科  
(〒020 盛岡市上田4-3-5)

\*\* 正会員 岩手大学技官 工学部建設環境工学科

\*\*\* 正会員 (株)アール・シー構造設計代表取締役

目する部位には、各種の被害形態が混在するが、広がり  
の最も大きい形態で代表させることとする。

被害の面積は、各形態を総合し、表—2によって分類  
する。ひびわれについては、発生している箇所を取り囲  
む部分の面積を対象としている。理想的には、各被害形  
態の面積を実測すべきであるが、接近できない部位が多  
く、やむを得ず目視によった。そのため、面積は大まか  
に3段階としている。

これら被害形態と面積との組合せにより、被害の程度  
を、表—3に示すように、軽・中・重度の3段階に分類  
する。あくまで感覚的に分類しているため、細分化を避  
け、3段階にとどめた。この評価を各道路橋のあらゆる  
コンクリート部分（部位）について行う。

この方法により、道路橋の部位毎に、各被害程度の発  
生割合を把握できる。しかしながら、被害の程度は“重  
度”というような感覚的な表示に過ぎず、たとえばコン  
クリートの強度と被害程度との関係を定量的に検討するこ  
とはできない。そのため、観察の容易な地覆のコンクリ  
ートを対象として、より詳細な分類を行い、被害程度の数  
値化を試みた。この数値化も、独自の方法によるもので  
あり、筆者らの既往の研究で、劣化外力評価方法の検討  
に用いている。詳細は文献<sup>2)</sup>に譲り、概略だけを述べら  
れ、以下のようなものである。

被害形態は、表—1と同様にして分類し、それぞれの  
面積を実測する。これら被害形態と面積とから、被害の  
程度を被害値として数値表示する。すなわち、形態毎に  
被害値を求めたこと、面積を実測したことが上述の方法  
と異なる。各形態の被害値を合計し、当該道路橋の被害  
値とした。

この数値で与えられる被害値の妥当性については、実  
験により確認した。また、各道路橋の架設後の経過年数  
の違いを考慮し、この被害値を経過年数25年に換算し  
て、それを被害値として再定義した。こうすることによ  
り、各道路橋の被害の程度を比較できる。

このような、被害程度の評価の外に、本調査では、シ  
ミュットハンマによるコンクリート強度の推定も行った。  
さらに、橋軸の方位や橋の位置の標高等も求めている。

被害状況の把握とともに、凍害防止のための設計上の  
留意点を見いだすが、本研究の主眼のひとつであり、  
調査にあたっては、この抽出を心掛けた。

### 3. 部位毎の被害の状況

表—4は、道路橋の各部位について、表—3に示され  
る被害程度が観察された割合を示している。たとえば、  
あらゆるコンクリート部分を調査対象とした道路橋382  
はすべて2基の橋台を有しており、橋台は総数764基と  
なる。このうち、19.6%に相当する150基の橋台に、

表—4 被害割合

橋の部位	被害割合(%)				
	軽度	中度	重度	合計	
親柱	打ち放しコンクリート	8.0	5.3	6.1	19.4
	化粧仕上げ	20.6	13.8	9.2	43.6
	全体	12.4	8.2	7.1	27.7
高欄	10.3	10.3	25.6	46.2	
地覆	14.1	8.3	11.1	33.5	
床版	1.8	2.1	3.9	7.8	
桁	RC	6.4	4.3	4.3	15.0
	PC	5.1	1.7	1.7	8.5
	全体	5.7	2.8	2.8	11.3
橋台	6.5	7.1	6.0	19.6	
橋脚	幅員からの飛び出し	15.3	11.9	3.4	30.6
	幅員内	7.0	5.3	2.6	14.9
	全体	9.8	7.5	2.9	20.2

軽度から重度までのいずれかの被害が観察されたこと  
になる。

全般的に、被害を受けている割合は高く、岩手県よ  
うな寒冷地にとって、凍害は重大な問題であると再認識  
せざるを得ない。たとえば、重度の被害に着目すると、  
この発生割合は高欄や地覆を除き、小さな値となってい  
るものの、この程度の被害ともなれば、補修を要すると  
考えられ、事態は深刻であると言えよう。

親柱の被害割合は、比較的高い。親柱はいわば橋の顔  
であり、構造的に何らの役割を果たさなくとも、凍害の  
発生は美観を損なうばかりでなく、通行者に不安感を抱  
かせる。

橋の顔であることを意識してか、親柱にはいわゆる化  
粧仕上げを施している例が多い。しかしながら、表—4  
のように、化粧仕上げの半数近くが何らかの被害を受け  
ており、打放しコンクリートの倍以上の被害割合となっ  
ている。

高欄の被害割合は最も高く、しかも重度の被害が多い。  
高欄に発生する凍害は通行者の目につきやすく、心理的  
な作用を及ぼす。

地覆の被害割合は、高欄に次いで高い。地覆には、高  
欄を支える機能も要求されるが、甚大な被害を受けてい  
れば、自動車の逸走を喰い止める高欄の効果が大きく損  
なわれよう。

道路橋の最も重要な部位である床版や桁については、  
さすがに被害割合が小さい。これは、水との接触が少ない  
ことにもよるが、他の部位に比し、一般に高い強度の  
コンクリートが用いられるのもその一因であると思われ  
る。表—4で、一般に高強度のコンクリートを用いるプ  
レストレストコンクリート桁の被害割合が、鉄筋コンク  
リート桁に比して小さいことから、コンクリートの強  
度等の品質が耐凍害性にかかわっていると推察される。

橋台および橋脚の被害割合は、床版や桁の倍程度と  
なっており、とくに雪の積もりやすい上面に被害が多い。  
橋の幅員から外側に飛び出している場合には、その傾向  
がさらに強く、表—4にも、それがはっきり示されてい

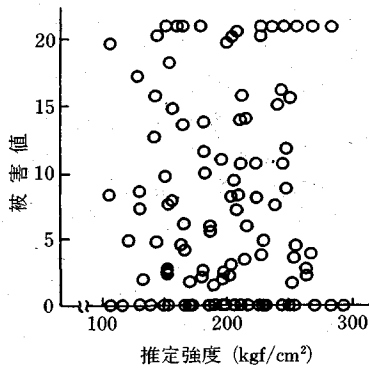


図-1 推定強度と被害値との関係

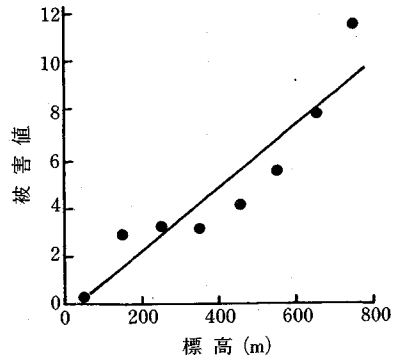


図-3 標高と被害値との関係

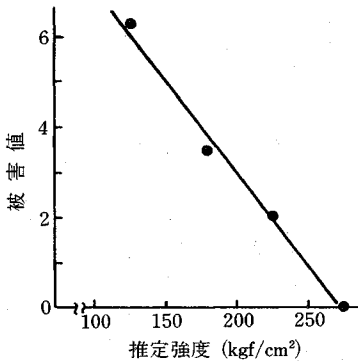


図-2 推定強度と被害値との関係

る。劣化が橋座まで及ぶようではその橋にとって、重大な事態となる。

#### 4. 地覆の被害値による考察

地覆については、より詳細な被害程度の把握を行った。その結果をもとに、いくつかの考察を加えてみる。

図-1は、シュミットハンマによる推定強度と被害値との関係を示している。強度の推定は、被害を受けていない部分で行っており、また材令補正を行って、材令28日に換算しているため、そのコンクリートが初期に有していた強度を推定したことになる。

明確な傾向は見られず、強度が高くとも、被害値の大きい例が数多く存在する。しかしながら、図の結果から、強度と被害値との関係を単純に論ずることはできない。すなわち、被害値には、各橋が受ける気象作用の違いの影響等も反映されており、また耐凍害性には、強度もさることながら、AE剤を適切に使用していたかどうかにより重要であって、この点も考察を難しくする。

そのため、強度を50 kgf/cm<sup>2</sup>刻みにランク分けし、各ランクの強度の平均値とそのランク内にある地覆の被害値の平均との関係を求めてみた。この操作は、各ランクの測定数が多ければ、被害値をランク内で平均することにより、被害値に対する気象作用やAE剤等の影響

が、各ランクでほぼ等しくなるとの考えによる。

その結果が図-2に示されており、逆比例の関係が認められ、大略的には、高強度ほど凍害を受けにくいと言える。すなわち、耐凍害性を向上させるために、強度の確保が重要な条件のひとつであるのは疑いない。しかしながら、相対的に強度が高いにもかかわらず、大きな被害を有する例が数多く存在している上述の事実もまた重要であり、強度さえ適当であれば、凍害を受けにくいとする考えは、安易に過ぎよう。

道路橋の位置する標高と地覆の被害値との関係を、個々の橋梁毎に求めてみたところ、図-1と同様に、明確な傾向を見いだすことができなかった。しかし、上述の強度の場合と同様の考えで、標高を50 m刻みにランク分けした平均値を用いれば、図-3のような直線に近い関係が成立している。

標高の高いほど、気象作用が厳しいのは明白であり、耐久設計においては、凍害をもたらす劣化外力の指標として、標高を用いる方法も考えられる。しかしながら、図の結果はあくまで岩手県に特有のものであり、普遍的には、気象条件そのものに着目した指標の確立が望まれ、この点は筆者らの先の研究<sup>2)</sup>で検討している。いずれにせよ、構造物の置かれている位置に応じて、適切な耐久性能をもたせることが重要なのは言うまでもない。

凍害をもたらす気象作用の受け方は、構造物が向いている方向によって異なる。これまで、凍害は北に面している場合よりも、南向きの方で著しいとの指摘がなされてきた。しかしながら、あくまで感覚に基づいた指摘であり、定量的に確認している例は見当たらない。ここでは、地覆の被害値を利用し、この点を検討してみる。

地覆の方位は、橋軸方向の測定結果から決定した。たとえば、橋軸方向が南北であれば、地覆の片側は東に、他の側は西に面していると考えられる。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。すべての地覆をこのように分類し、各方位の被害値の平均で比較検討する。

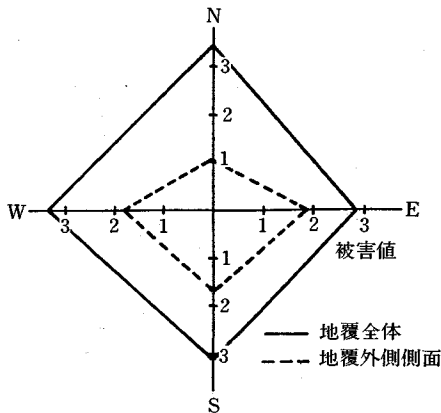


図-4 方位別の被害値

図-4は、その結果であり、地覆全体すなわち地覆の上面および外側・内側側面の3面すべてに着目した場合には、東面の被害がやや小さいものの、方位差は顕著でない。総体的には、地覆3面のうち、上面の被害が著しく、この面が受ける気象作用は両側地覆でそれほどの差がないために、このような結果が得られたと推察される。これに対し、外側側面のみに着目した場合には、北面の被害が明らかに小さい。外側側面では、方位によって日射の影響が大きく異なり、北に面した側面に冬陽が射すことはなく、コンクリート内部で凍っていた水分を融解させる気温の上昇および日射の作用のうち、後者の条件が欠ける。すなわち、北面は、他の面に比し、凍結融解の繰返し数が少なく、そのため被害も軽いと考えられる。

この結果は、従来からの指摘を追認するものであるが、場合によっては、北向きの被害が著しい例も存在しており、注意を要する。すなわち、北向きと南向きとで被害に差のあった地覆に着目し、いずれの被害が大きいかを整理してみると、その多くが南向きで著しい被害を示しているものの、北向きの外側側面で著しい被害となっている地覆が3割もあり、決して無視できない。日中の気温が北向きのコンクリート中の凍結水を融かすまでに上昇する地域では、相対的に温度の低い北向きのコンクリート中で夜間に水が凍る可能性が強くなり、南向きよりも凍結融解の繰返しが多くなる。北向きの被害が著しいのは、主としてこの理由によると考えられる。

地覆のみならず、他の部位においても、片面のみが被害を受けている例が少なくなく、設計・施工にあたっては、その構造物の形態や位置する場所の気象条件等をよく勘案し、厳しい作用が予想される面へのより慎重な配慮が望まれる。

### 5. 凍害防止のための構造細目

本調査では、被害の実態を探るとともに、その原因についても考察した。その結果、材料や施工上の何らかの

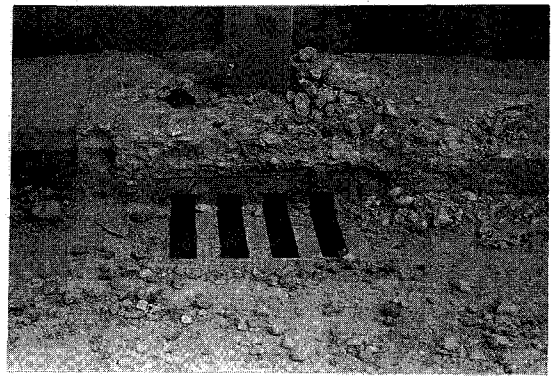


写真-1 排水口付近の被害

問題点が、凍害の発生を招いたと思われる例が多いように見受けられた。そこで、この点を明確にするため、対象となる道路橋の架設時におけるコンクリートの使用材料や配合等の資料を入手しようとしたが、ほとんど保存されておらず、材料や施工と凍害の程度との因果関係を定量的に検討するのは、不可能に近いことが判明した。

一方、設計の不適切さが凍害を招いたと思われる例も少なくない。もちろん、目視観察に限られるため、内部の配筋状態などは不明であり、これらの設計項目は除外されるが、凍害発生に不可欠の要件である水分供給にかかわる形状等の設計要因の妥当性などについては、目視でも十分検討できる。そこで、本調査では、凍害防止のための設計上の留意点を探ってみた。桁や橋台等の部位別に抽出された留意点は、総計65に及ぶ。

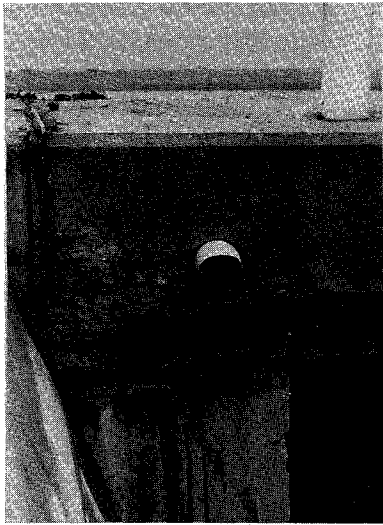
実用上は、構造細目の項目を橋の部位別に示すのが便宜的であると思われるが、抽出した項目が数多く、すべてを網羅できないため、部位別にこだわらず、着目点毎に主要な項目を提示することとする。

#### (1) 排水に関する構造細目

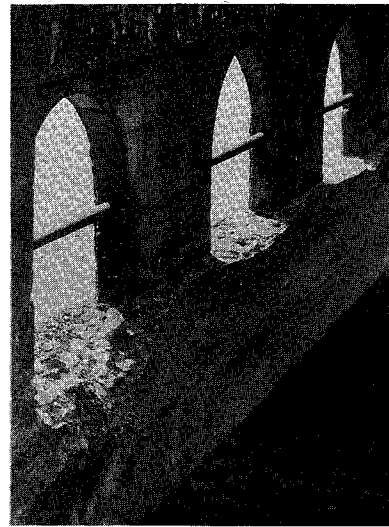
降雨・融雪時に橋面上を流れる水は、速やかに、かつ円滑に橋の外あるいは下に排除されなければならない。そのためには、橋面舗装に適切な勾配をつけるとともに、排水施設の設計に充分留意する必要がある。現行では、降雨強度と橋面積から配水管の本数を決定しているが、融雪時の水の流れは降雨時と異なる恐れがあり、また排水口が目詰りを起こせば、決定した本数も無意味になってしまう。

橋面上の融雪水は排水口に集まるため、写真-1のように、この付近の地覆コンクリートが湿潤状態となって、凍害を受けやすい。排水機能が円滑でなければ、この箇所における凍害発生の危険性はなおさら高く、たとえばスクリーンの目の開きを大きくし、配水管の径も太くするなどの配慮が必要となる。

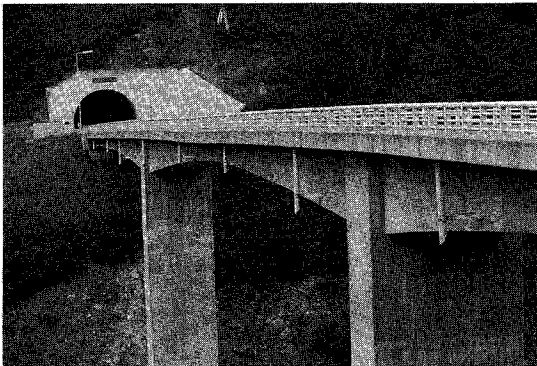
配水管の出口にも注意を要する。写真-2は、配水管の長さが不足しているために、風に吹かれた水が地覆側



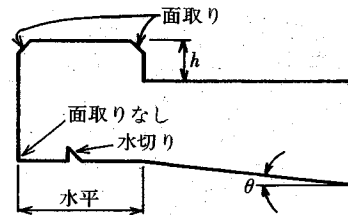
写真一2 排水管出口付近の被害



写真一4 地覆の被害



写真一3 適切な排水管



図一5 地覆および床版の形状

面にあたって、劣化をもたらしたと思われる例であり、十分な長さの配水管とすれば、このような被害を防止できるが、破損の恐れや美観を損なう懸念からそれには限界がある。橋の側面に排水するよりも、写真一3のように、橋の下に直接水を導くのが耐凍害性の観点から好ましい。ただし、この場合も、配水管の長さが不足していれば、桁などに水が当たる危険性があり、事実それが原因となって、凍害の発生している例が見受けられた。この点、写真の例は、配水管の長さが適切で、しかも桁高の変化に合わせてその長さを調節しており、凍害防止上好ましいばかりでなく、橋の美観も配慮した心にくい工夫となっている。

## (2) 水まわりに関する構造細目

地覆上面での融雪など、排水施設では処理できない水が、地覆や床版の側面・下面を濡らし、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。したがって、水まわりを考慮した詳細設計が、凍害防止上、きわめて大切となる。

写真一4では、地覆の上面から側面にかけて、著しいスケーリングが見受けられ、とくに高欄の間の劣化が激しい。この橋の場合、橋面と地覆上面とがほぼ同一レベルであり、そのため橋面上の水が高欄の間を流下して、この部分を湿潤状態とし、凍害を発生させたのは疑いなく、このような被害を防ぐには、図一5の橋面と地覆との段差  $h$  を十分に確保する必要がある。当初、この段差が適当であっても、橋面舗装の補修により、段差がほとんど失われている例もあり、将来を見越した  $h$  の確保が望まれる。

地覆は融雪によって湿潤状態になりやすく、日射や風的作用も直接受け、劣化外力が大きい部位であり、前述のように、著しい被害を受けている例が多い。地覆の構造的な役割は小さいものの、交通安全上、高欄を支える機能は重要であり、劣化が強くと懸念される場合は、地覆全体をあらかじめ鉄板等で覆っておく保護対策もひとつの方法であると思われる。実際にも、跨線橋では、そのような保護を講じている例が見受けられる。

橋上面からの水が地覆・床版下面さらには桁に伝わらないようにするためには、図一5の形状が望まれる。地覆上面隅角部の面取りは、上面への積雪を幾分でも軽減し、後述するように、応力集中の緩和にも役立つ。これに対し、側面と下面との隅角部に面取りを設けるのは、



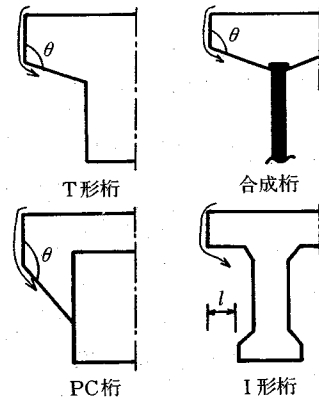
写真—5 不適切な水切り



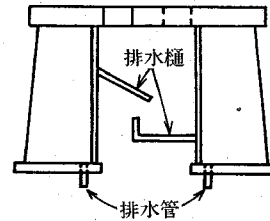
写真—6 桁の被害

応力集中の回避に有効であるものの、下面に水が伝わりやすく、この点からは好ましくない。下面に伝わってきた水がさらに奥へ進まないようにするためには、水切りの設置が有効である。しかし、写真—5のように、水切りを設けても、その形状・寸法が不適切であるため、用をなしていない例が少なくない。図—5のような形状で、しかも寸法の大きい水切りが有効であると推奨できる。また、同図のように、地覆・床版下面を水平もしくは水平に近い形状とすれば、水の回り込みを軽減できると考えられる。

写真—6に示す例では、地覆側面と下面との隅角部に面取りを施し、水切りはなく、さらに地覆・床版下面に比較的大きな勾配がついているため、水が桁まで伝わる条件が整っており、桁側面下部に鉄筋露出に至る凍害が発生している。T形桁の場合に限らず、図—6のように、合成桁やPC桁でも図中に示す角度 $\theta$ を直角に近づけて水の伝達を少なくするのがよい。I形桁では、図の $l$ が小さい場合に、落下してくる水が桁側面下部にあたっ



図—6 桁の形状



図—7 伸縮継手部の対策

て凍害を発生させる恐れがあり、大きな $l$ とすることが望まれる。むしろ、構造上重要な桁の形状は、耐荷力の観点から決定されるのが基本であり、また経済上の制約もあるため、耐久性の向上のみを旨とした形状とするのは必ずしも現実的でないと思われるが、許容できる範囲で水の回り込みを少なくする設計上の配慮が望まれよう。

構造上重要な床版および桁は橋面舗装や地覆で保護され、降雨・降雪が直接かからず、日射や風等の影響も少ない。そのため、上から何らかの理由で伝わってくる水を上述のような方法で遮断できれば、多くの場合、凍害の発生は防止可能であると期待される。

下部工では、伸縮継手から落下してくる水によって凍害を受けている例が見受けられる。このような被害を防止する方法として、図—7のように、落下する水を受ける排水樋の設置が考えられるが、樋の清掃が難しく、最近では水の流下を遮断して表面を流す非排水型が種々考案されている。ただし、調査した範囲内では、排水樋型や非排水型の伸縮継手は僅少であり、伸縮継手からの水の落下を放置して凍害を受けている例が目についた。この例に限らず、開発されている技術を積極的に設計に組み込んでいく姿勢の欠如によって発生したと思われる被害は少なくない。

写真—7では、橋台の前面および側面に凍害が見受けられる。この橋の場合、図—8の(a)のように、橋座面から落下する水が耐凍害性上問題となる施工継目に直



写真-7 橋台の被害



写真-8 高欄ポストの膨張

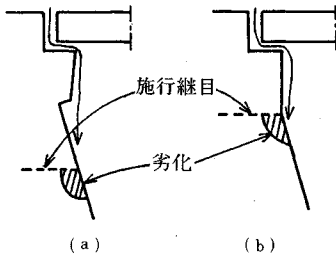


図-8 橋台の被害

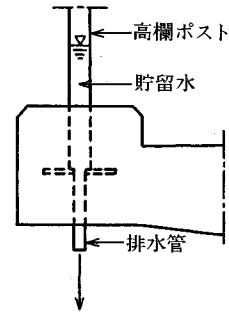


図-9 高欄ポストからの排水

橋あたる形状となっており、水の落下先に対する配慮を欠いた例といえる。この橋台はやや複雑な形状で、その配慮の欠如もやむを得ない面があるが、同図 (b) のように、より一般的な形状の場合にも、断面が変化する箇所凍害の頻発が目につく。施工継目に直接水があたる形状は、厳に避けるべきであろう。構造上の制約はあるものの、耐凍害性の観点からは、垂直な橋台前面が望ましい。

### (3) 水抜きに関する構造細目

橋の構造によっては、水の貯留しやすい箇所があり、その水の凍結が直接コンクリートの損傷をもたらしたり、水の供給源となって、他の箇所の凍害を誘発したりする。

写真-8 に見られる高欄ポスト根元の地覆コンクリートに発生しているひびわれは、手摺の継手から侵入してポストに溜まった水の凍結・膨張に起因している。とくに、その継手がポストの直上に位置する場合に、この種の被害が頻発しており、中にはひびわれに沿って、地覆外側のコンクリートが塊状に剥落している例も見受けられた。水が貯留しないH型などの柱とすれば、このような被害の懸念はない。中空断面のポストとするのであ



写真-9 桁への水の伝達

れば、少なくとも手摺の継手がポストの直上に位置するのを避け、さらに図-9のように、水抜きパイプを設ける必要がある。

写真-9 は、中桁にまで水が伝達し、凍害の発生が懸念される例であり、床版のひびわれを通して水が伝わってきたと推察される。一般に、舗装を浸透してきた水が床版や桁まで伝わるのを防ぐため、舗装と床版との間に、

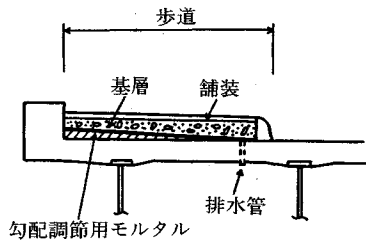


図-10 歩道の基層からの排水

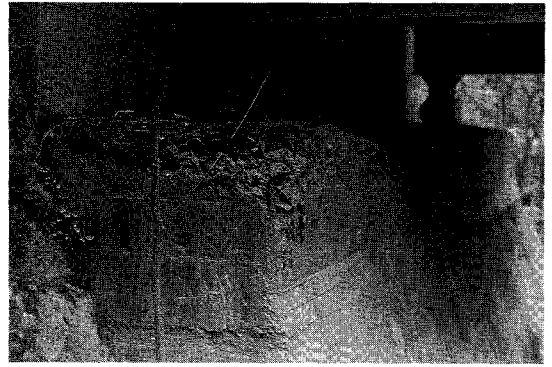


写真-11 橋台の被害

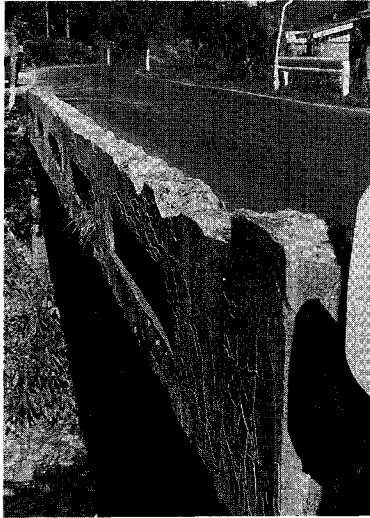


写真-10 高欄の被害

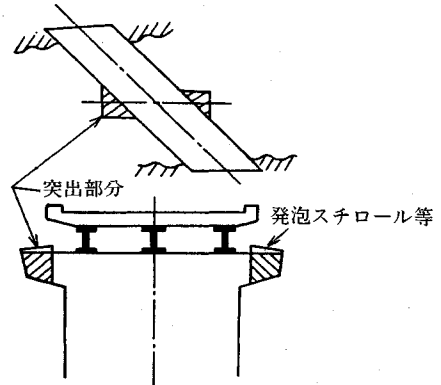


図-11 突出している下部工の保護例

防水層を設ける。この防水層上に貯留した水は舗装を劣化させ、防水に不備がある場合は、床版や桁の被害をもたらす恐れがある。とくに、歩道のように、自重の軽減を目的として、舗装の下に中詰めの砂などを敷く場合には、水がより一層貯留しやすい。図-10のように水抜きパイプを設け、水の貯留を防ぐべきであろう。

#### (4) 積雪に対する構造細目

積雪があるのは、各部位の上面であり、融雪によって含水程度が高まる。さらに、フリージングに伴う材料分離により、上面近辺のコンクリートの耐凍害性は一般に劣る。そのため、上面に被害例が多い。

写真-10は、高欄の凍害であり、崩壊と言えるほどの激しい劣化を示している。高欄上面が平らで積雪しやすく、それが凍害発生の大きな原因と考えられる。これに対し、上面に丸みをつけた場合には、積雪しにくいいためか、この面に劣化を受けている例が相対的に少ない。

なお、高欄をコンクリート製としている橋梁は、たとえば1960年以前につくられたもので、半数以上存在していた。しかし、この割合は急激に減少し、1975年以後に建設された橋梁では、数例に過ぎない。コンクリートアーチ橋などでは、コンクリート製の高欄が橋全体によく調和し、捨て難い味があるが、施工の容易さ、軽快

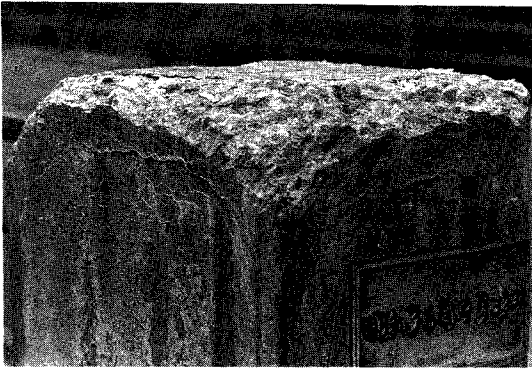


写真-12 管への積雪による橋側面の被害

感等の美観、自重の軽減などを考慮すれば、コンクリートに代わり、メタルの高欄が多用されるようになったのは、やむを得ないと考えられる。高欄が著しく劣化していれば、通行者に不安を覚えさせる。高欄の場合、凍害を受けやすい条件が整っており、この点からも、コンクリート製の高欄は避けるべきであろう。

写真-11は、橋台上面の凍害であり、積雪がこのような被害をもたらしたと推察される。前述のように、橋台や橋脚が橋の幅員から外側にとび出している場合に、その上面の被害例がとくに多い。突出を避けるか、それ





写真一三 親柱の被害



写真一四 親柱の被害

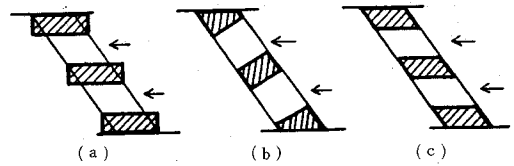
がやむを得ない場合は、図一11のように、何らかの材料による保護が必要であろう。上面のコンクリートに勾配をつければ、積雪を軽減できると思われるが、地震時における桁の落下が懸念される。

写真一12の例では、橋に平行する管が設けられており、この上に積もった雪が地覆側面を濡らし、その部分に著しい凍害をもたらしている。凍害防止上、管類は橋の下を通すのが適切であり、管類の保護や美観上からも好ましい。

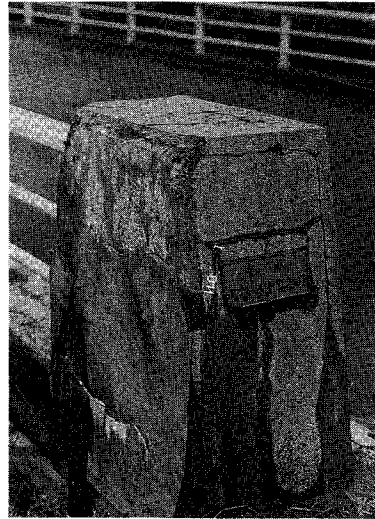
#### (5) 隅角部の構造細目

写真一13は、親柱の凍害であり、エッジに平行で、隅角部で回り込むDラインひびわれが先行し、激しいスケリングに至ったと推察される。Dラインひびわれの一因は、エッジや隅角部での応力集中であるとされており、適切な面取りによって、それを避ける必要がある。

写真一14の親柱は、変則的な五角形の断面を有し、隅角部が多く、応力集中の箇所が多いためか、激しく劣



図一12 斜橋における橋脚・橋台



写真一五 化粧仕上げの剥落

化している。耐凍害性確保の面から、親柱の工場製作も考えられるが、その利点は同一製品の多量生産であり、一方親柱は橋のいわゆる顔であって、個性を強調したい部位であるため、工場製作による没個性化は好ましくない。しかし、余りにも意匠に凝った場合には、この例のように、耐凍害性に劣る恐れがある。親柱に限らず、単純な美を追求した方が、耐久性の観点からも望ましいといえよう。

たとえば、図一11のように、橋軸方向が流心方向と直角に交わらない場合、それに対応して、橋台、橋脚の設置の仕方には、図一12のような三通りが考えられる。(a)の場合、突出部分の凍害が懸念されることは前述した。(b)は突出がないものの、流れを阻害する問題が残る。(c)は突出もなく、河積断面も狭めず、最も好ましいといえるが、鋭角部を有するため、この部分に過大な応力集中が生じる恐れがある。施工上も、鋭角部の締固めに困難を伴い、この部分のコンクリートの品質が劣りやすい。鋭角部分を有する形状を避けるのが望ましく、やむを得ないのであれば、適切な面取りを要する。

#### (6) その他の構造細目

コンクリートにモルタルで化粧仕上げを施した場合には、写真一15のように、モルタルの剥落が多く見られる。収縮ひびわれを通して浸入した水が、下地コンクリートとの間に溜まって凍結・膨張し、表面のモルタルを剥落

させたと推察され、劣化が本体コンクリートに及んでいる例も存在していた。化粧仕上げは、親柱の個性を引き出すのに有効であるが、寒冷地では耐凍害性に問題があり、避けるべきであると思われる。

モルタルのみならず、石材を用いた化粧仕上げにも、同様の被害が見受けられた。耐久設計指針では、石張りなどの表面防護工に積極的な評価を与えており、それは防護工が機能を失うまでには、内部コンクリートは保護されており、最初から防護工がなかった場合よりは、構造物本体の耐久性が向上するとの観点によるとしている。しかし、防護工と本体との間に水が浸入するようであれば、本体までもが損傷する恐れがあり、防護工のない場合に比し、耐凍害性が損なわれることもあり得る。あくまで、コンクリート本体で劣化外力に抵抗させようとする打放しコンクリートが望ましいように思われる。

各種の原因による先行ひびわれが、凍害の誘因となる場合も多い。たとえば、地覆については、適当な間隔に伸縮継手を設け、ひびわれ発生を軽減する必要がある。また、長手方向の鉄筋を増やして、ひびわれの分散を図るのが望ましい。これは、凍害発生後の耐力確保にも有効であると考えられる。

## 6. あとがき

本研究では、岩手県内に存在する道路橋を対象として、

コンクリートの凍害調査を行い、凍害発生の状況を把握した。さらに、設計上の細心な配慮により、防止できた凍害が少なくないことを指摘し、その具体的な対応策の例を数多く示している。とくに、凍害発生の不可欠な要因である水分の供給に着目し、これに関する構造細目を体系的に整理した点に、本研究の大きな特色があると言える。

これまで、耐久性の確保を旨とした構造細目はほとんど看過されてきたと思われる、それが凍害防止上の盲点になっているのは疑いない。提示した構造細目の具体例は、今後のコンクリート構造物の設計に組み入れられていくべきであろう。

ここでは、道路橋のみに着目したが、凍害防止の基本には共通性があり、他のコンクリート構造物にも適用できる面が少なくないと考えられる。

おわりに、本研究遂行に際し、多大な御援助を賜った岩手県土木部の関係各位に深甚の謝意を表します。

## 参 考 文 献

- 1) 土木学会コンクリート委員会：コンクリート構造物の耐久設計指針(試案)，コンクリートライブラリー，第65号，土木学会，1989. 8.
- 2) 藤原忠司：コンクリートの凍害に関する劣化外力の評価方法，土木学会論文集，No. 435，pp. 111～120，1991. 9. (1991. 10. 7 受付)

## FROST DAMAGE OF CONCRETE USED IN ROAD BRIDGES AND STRUCTURAL DETAIL FOR PREVENTING ITS DAMAGE

Tadashi FUJIWARA, Kunishige KATABIRA and Hiroji KAWAMURA

In order to establish methods for producing durable concrete, it seems to be necessary to make a detailed investigation on deterioration of exposed concrete structures in the field, besides laboratory experiments. In this investigation, a large number of road bridges were examined and many points which should be considered in the constructing and designing of bridges were found. The deterioration observed seems to be mainly caused by poor construction, but in many cases deterioration could be avoided by careful considerations to questions of design of concrete. It is expected that the details of structural design proposed here could be helpful in preventing deterioration due to freezing and thawing.