

V—4 北海道内陸で30年経過したR C建造物の性状

北見工業大学 正会員 鮎 田 耕 一
 “ “ 桜 井 宏
 “ “ 猪 狩 平三郎
 “ “ 岡 田 包 儀

1. はじめに

北見市の旧消防本部の望楼は、昭和30年に現市庁舎の一部として完成したR C建造物である。約10年前に望楼監視は廃止されたが、その後もそのまま残されており、30年以上にわたり厳しい気象環境にさらされている。このため、コンクリートがはがれ落ちるなど損傷が目立ちだしたので、市では61年春に応急修理を行った。

道東内陸で30年も経過したR C建造物の耐久性に関する調査例がほとんどないことから、筆者らは、寒冷地におけるR C建造物の耐久性向上技術の開発に資すること、将来の大規模な補修等の基礎資料にすること、等を目的として修理に先立ちコンクリート及び鉄筋の性状調査を行った。本文では、その結果について報告する。

2. 調査の概要と試験項目

2.1 構造物と調査の概要

当該構造物は、図1に示すようにタワーを5層の階段、スラブがとり囲む構造となっている。

調査では、外観検査のほか、階段、スラブの各層、各方位とタワーの一部(図1の測定箇所参照)で、圧縮強度と中性化深さを求めた。また、階段、スラブのS1, W1, N1, E1とタワーのET, WTからは $\phi 10$ cmのコアを各1個採取して各種の試験に供した。

2.2 外観検査

写真撮影によりコンクリートの劣化状況を記録した。また、S1, W1, N1, W1の4箇所については、ひびわれの長さとしを測定し、その発生状況を記録した。

2.3 コンクリートの圧縮強度試験

(1) シュミットハンマーによる方法

日本材料学会「シュミットハンマーによる実施コンクリートの圧縮強度判定方法指針」に基づいて行った。

(2) コア供試体による方法

JIS A1107に基づいて行った。ただし、コアの高さが10 cm未満のものがあつたため、高さによる強度の補正は、セメント協会コンクリート専門委員会報告F-37に基づいて行った。

なお、圧縮強度試験に先立ち、供試体高さ方向の超音波伝播速度と、圧縮強度試験時にヤング係数を求めた。

2.4 コンクリートの中性化試験

(1) 中性化深さの測定

測定箇所を上面からはつり、あるいはコア供試体に1%フェノール

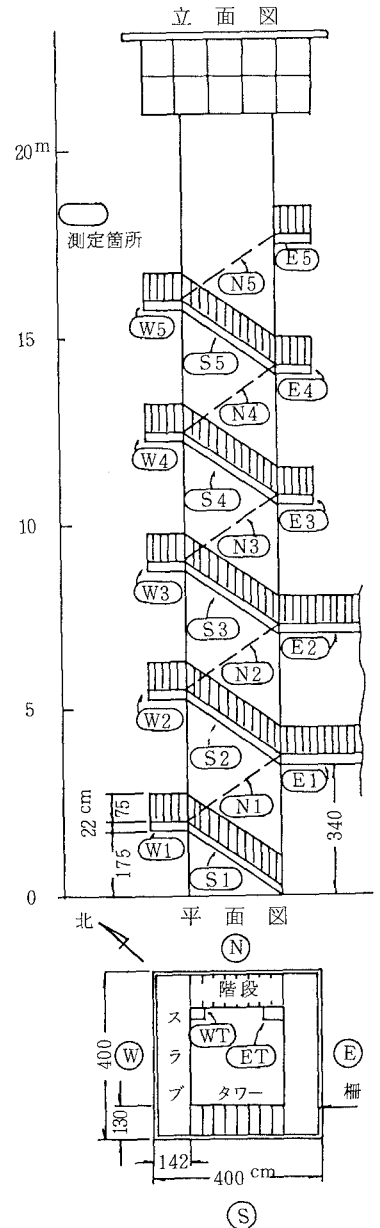


図-1 旧望楼の外観と調査箇所

フタレインエタノール溶液を噴霧して中性化深さを求めた。測定は各箇所 4 点以上とし平均値で表した。

(2) 生成物の同定

コア供試体を10mm厚に輪切りにし、微粉碎して粉末X線回析（理学電機(株)ガイガーフレックス 2035型）によりコンクリート中の生成物を求めた。

2.5 コンクリートの空気量，細孔構造及び配合推定試験

(1) 硬化コンクリートの空気量の測定

ASTM C 457 に準じてコア供試体を用いて測定した。

(2) 細孔構造

はつり取った試料（表面から15cm深さまで）を、2.5～5mmの大きさに粉碎し、アセトン洗浄、D-dry後、水銀圧入式ポロシメーター（カルロエルバ社 220 型）で各 3 g の試料の細孔構造（細孔半径37～562000Å）を求めた。

(3) 硬化コンクリートの配合推定

コア供試体の一部を用いて、セメント協会コンクリート専門委員会報告F-18に基づいて行った。

2.6 鉄筋の検査

S1,W1,N1,E1及びS4,W4,N4,E4の8箇所
でコンクリートを鉄筋の位置まではつり、鉄筋の腐食
状況、かぶり、鉄筋径を求めた。なお、鉄筋の腐食程
度は表1に基づいて分類した。

表1 鉄筋の腐食程度分類

分類	鉄筋の状態
I	黒皮の状態、又はさびが生じているが、全体的に薄い緻密なさび
II	部分的に浮きさびがあるが、小面積の斑点状
III	断面欠損は認められないが、鉄筋の全周、又は全長にわたって浮きさび
IV	断面欠損を生じている

3. 調査，試験の結果と検討

3.1 外観検査

階段、スラブにひびわれが発生しており（図2）特に柵の外側に多い。発生箇所及びひびわれのパターンから、その原因は主として凍結融解作用によるものと考えられる。また、底面にエフロレッセンスが見られ階段では外側半分、スラブではほぼ全面に広がっている（写真1）。隅角部ではコンクリートが剥離、剥落して（写真1，図2）、鉄筋が露出している箇所がある。露出している鉄筋の腐食程度は表1のIである。

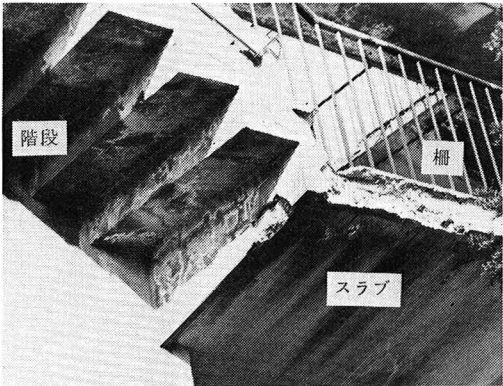


写真1 劣化状況 (S2)

建設大臣官房技術調査室監修の「鉄筋コンクリート造建築物の耐久性向上技術」では、劣化症状として、ひびわれ、浮き、剥落、さび汚れ、エフロレッセンス、ポップアウト、漏水痕跡、異常体感を挙げている。外観検査の結果によれば、このうち、ひびわれ、浮き、剥落、エフロレッセンスで、精密な劣化診断を必要とする状況にある。

3.2 コンクリートの強度

シュミットハンマー法によるコンクリートの圧縮強度を測定箇所ごとに図3に示した。また、コア供試体の圧縮強度、超音波伝播速度等を表2に示し、このうち、圧

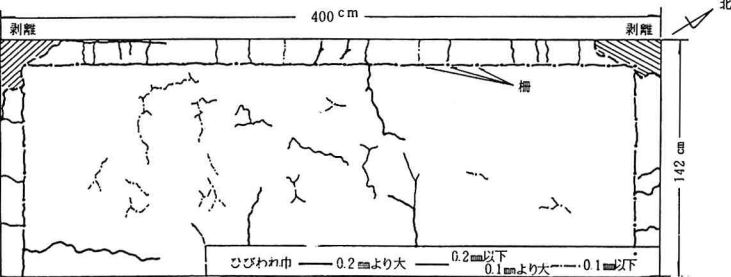


図2 ひびわれ発生状況 (W1)

縮強度を図3に併せて示した。

これらの測定結果から、次のことがいえる。

- ① シュミットハンマーの反発硬度から求めた圧縮強度は、同じ測定箇所のコア供試体のその約7%増(平均値)であり、シュミットハンマー法とコア供試体による圧縮強度は、ほぼ同じとみなせる(図3)。
- ② 圧縮強度は140～450 kgf/cm²の範囲にある(図3、表2)。
- ③ スラブの圧縮強度(平均260 kgf/cm²)は、階段のそれ(同400 kgf/cm²)の約65%である(図3)。
- ④ スラブ(W)の圧縮強度(同220 kgf/cm²)は、スラブ(E)のそれ(同290 kgf/cm²)の約75%であり、W2では142 kgf/cm²しかなかった(図3)。
- ⑤ 階段(S)の圧縮強度(同380 kgf/cm²)は、階段(N)のそれ(同420 kgf/cm²)の約90%である(図3)。
- ⑥ 階層による圧縮強度の違いは見られない(図3)。
- ⑦ タワーの圧縮強度(同240 kgf/cm²)は、階段、スラブのそれ(コア供試体強度平均290 kgf/cm²)と同程度かやや低い(表2)。
- ⑧ 全般にヤング係数(1/3割線弾性係数)は、やや小さいものである(表2)。
- ⑨ 階段、スラブのコア供試体の圧縮強度と超音波伝播速度との相関を表2から求めたところ、

$$\sigma = 166 + 8.80 V^2 \quad r = 0.99$$

ここで σ : 圧縮強度 (kgf/cm²)

V : 超音波伝播速度 (km/s)

r : 相関係数

で表わされ、相関性は高かった。

以上のことから、スラブの劣化が階段より進んでいること、冬季間も日当りのよい(S)(W)面の部材の劣化が(N)(E)面より進んでいることがうかがえる。

構造物全体としては比較的高い強度レベルを維持している半面、スラブ(W)のように強度レベルが低い箇所があることが明らかになった。

3.3 コンクリートの中性化深さ

部材の上面からの中性化深さを、測定箇所ごとに図4に示した。各コア供試体の中性化深さを表3に示し、このうち、コア抜き取り時の上面

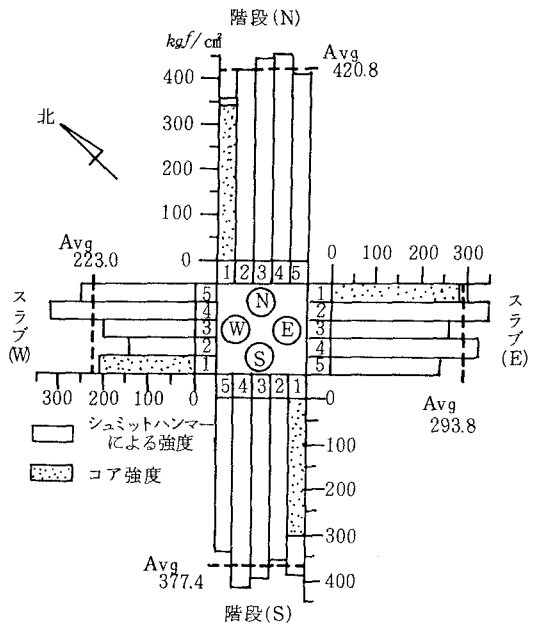


図3 圧縮強度

表2 コア供試体の強度性状

箇所	直径 (cm)	高さ (cm)	圧縮強度 (kgf/cm ²)	ヤング係数 ($\times 10^5$ kgf/cm ²)	超音波伝播 速度(km/s)
S 1	11.11	11.04	300	1.72	3.77
W 1	10.08	12.52	207	—	2.25
N 1	10.10	12.98	341	2.51	4.52
E 1	10.08	19.74	299	2.24	3.92
平均	—	—	287	2.16	3.62
ET	10.08	9.44	214	1.66	3.65
WT	10.08	10.51	271	1.86	3.91
平均	—	—	242	1.76	3.78

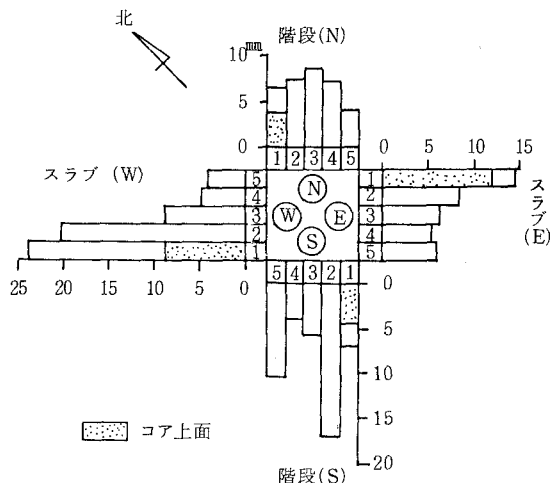


図4 部材上面からの中性化深さ

からの値を図4に併せて示した。なお、階段、スラブともモルタル仕上げと思われる層が5~10mmあったが、躯体との区別が判然としなかったので、中性化の測定にあたっては特に区別しなかった。ただし、タワーは表面に5~8mmの化粧材(中性化の反応は示さない)があったので、中性化の測定にあたっては、これを除いた値とした。

図5には、粉末X線回折試験の結果の一例を示した。

これらの結果から、次のことがいえる。

- ① 中性化深さは、はつり箇所で4~24mm、コア供試体の上面で4~12mm、下面で7~15mmである(図4、表3)。
- ② はつり箇所とコア供試体の抜き取り位置は近接しているが、中性化深さの測定値に差がみられる(例えば、W1では、はつり箇所約24mmなのに対して、コア供試体上面からの測定値は約9mm)(図4)。
- ③ 階段、スラブの中性化は、上面(平均7mm)より下面(同11mm)の方がやや進んでいる(表3)。
- ④ タワーの中性化(同10mm)は、階段、スラブの下面(同11mm)とはほぼ同じである(表3)。
- ⑤ フェノールフタレイン溶液の噴霧により中性化していると判定された箇所では、 CaCO_3 が大きく検出され、一方、中性化していないと判定された箇所では $\text{Ca}(\text{OH})_2$ が残存しており(図5)、フェノールフタレイン溶液による中性化深さの判定の妥当性が確認された。

以上のことから、中性化はスラブ(W)の一部で20mmを超える深さまで進行していることが明らかになった。一方、同じ測定箇所のスラブでもコア供試体による中性化深さの測定値が約9mmであるように、中性化深さに変動がある。これは、凍結融解作用によるひびわれの発生、コンクリート打込み時の材料分離による不均一性等によるものであろうが、コンクリートの品質が箇所によって異なっていることを示している。

3.4 コンクリートの空気量、細孔構造と配合

(1) 空気量

コア供試体の空気量は、N1が1.8%、E1が1.7%であり、non AEコンクリートである。このため、スラブ(W)の隅角部のように凍結融解回数を多く受ける部位では、表層部の凍害劣化が進行したと思われる。

(2) 細孔構造

はつり試料の細孔半径と細孔容積の関係を図6に示した。スラブ(W1、E1)の細孔構造は、階段(S1、N1)に比べて粗大化している。特に、スラブ(W1)の総細孔容積が他の箇所の試料のそれより大きく、よりポー

表3 コア供試体の中性化深さ(mm)

箇所	上面	下面
S1	4.6	12.1
W1	8.8	10.9
N1	3.6	7.1
E1	12.1	14.7
平均	7.3	11.2
箇所	表面	
ET	10.1	
WT	9.4	
平均	9.8	

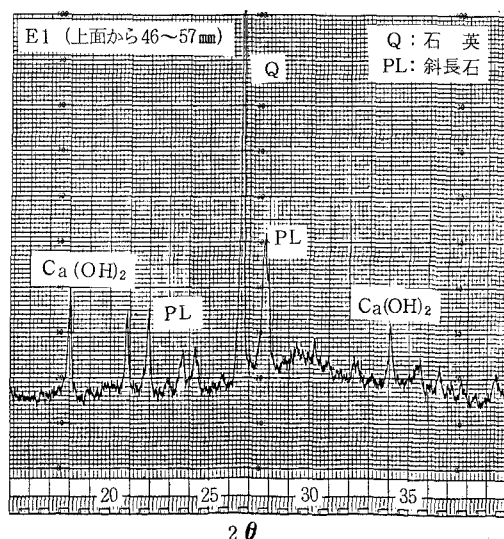
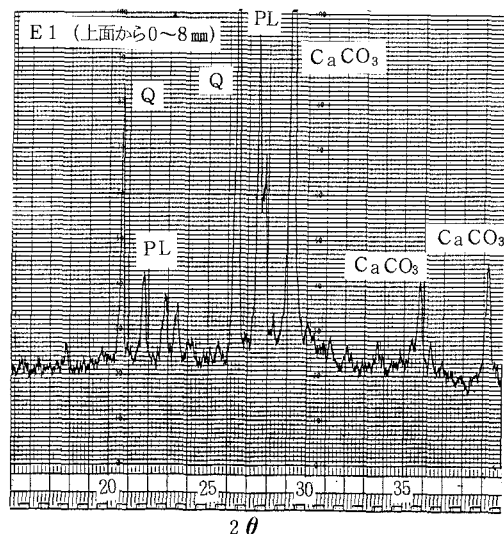


図5 粉末X線回折結果

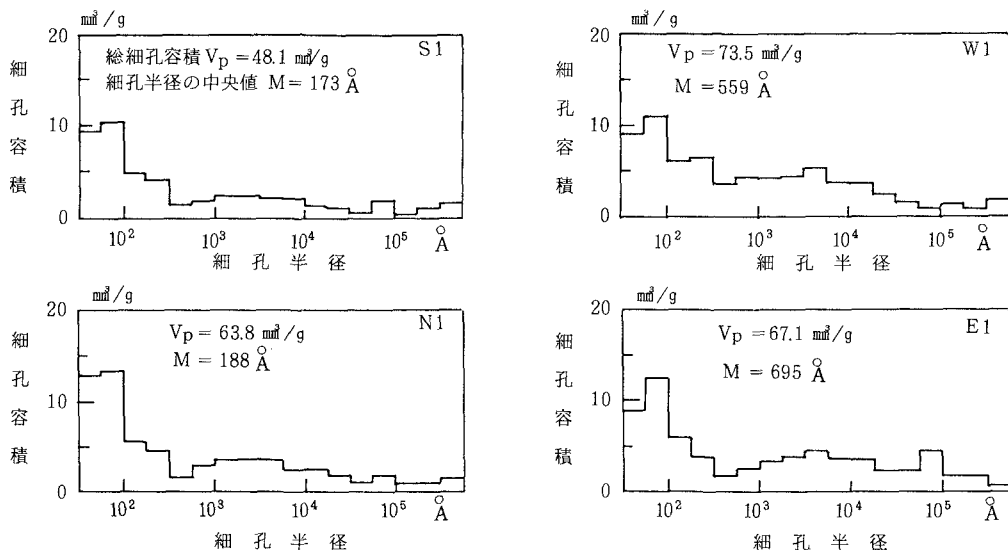


図 6 細 孔 構 造

表 4 配 合

箇所 単位量	W1	E1	ET
セメント(kg)	216	222	219
骨 材(kg)	1703	1792	1787

ラスな構造になっている。このことは、3.2の圧縮強度、3.3の中性化の傾向と一致するものであり、スラブ(W)は他の箇所に比べて凍結融解抵抗性が小さい組織となっている。

(3) 配合

コア供試体の配合推定試験から得られた単位セメント量と単位骨材量を表4に示した。この結果から、スラブ(W1, E1)とタワー(ET)は、ほぼ同じ配合のコンクリートで施工されていると推察される。

3.5 鉄筋の状況

はつりによって鉄筋を露出させた箇所の部材厚、鉄筋径、底面からのかぶりを表5に示した。また、鉄筋の腐食程度を表1によって分類し併せて示した。なお、表中の鉄筋番号は写真2と対応させている。

鉄筋はφ25, φ16, φ13, φ9mmの丸鋼が使用されており、一部の鉄筋(S1)に部分的に浮きさが認められたが、ほとんどの鉄筋は全く健全であった。これは、コンクリートの中性化部分が浅く、鉄筋の位置まで達していないこと、はつり箇所やコア抜き箇所における観察によれば、ひびわれがコンクリート表層部だけにとどまり、内部にまで進展していなかったこと、等によるものと考えられる。

4. ま と め

建造から30年経過した北見市の旧消防望楼に使用された材料の詳細や当時の建設状況などの記録は残っていなかったが、コンクリートと鉄筋の現況について調査した結果、以下のことが明らかになった。

1) 外観検査によれば、階段、スラブともひびわれが発生し、底面には広範囲にエフロレッセンスがみられた。ひびわれは柵の外側に、エフロレッセンスは外側半分に多かった。また、北西面のスラブの隅角部など一部のコンク

表 5 鉄筋の状況

箇所	番号	部材厚 cm	鉄筋径 mm	かぶり mm	腐食 程度
S1	1	24	12.8	90	Ⅱ
	2	24	9.1	106	Ⅱ
W1	1	22	12.8	100	I
	2	22	15.9	113	I
	3	22	13.2	98	I
	4	22	12.1	79	I
N1	1	19	11.9	18	I
	2	19	9.0	36	I
E1	1	22	23.4	—	I
	2	22	—	—	I
	3	22	—	—	I
	4	22	9.0	85	I
	5	22	12.7	94	I
S4	1	19	12.7	34	I
	2	19	8.9	46	I
E4	1	22	8.9	39	I
	2	22	9.1	63	I
	3	22	13.1	46	I
N4	1	19	12.1	13	I
	2	19	9.0	27	I
W4	1	22	9.0	75	I
	2	22	8.9	80	I
	3	22	12.3	68	I
	4	22	12.6	61	I

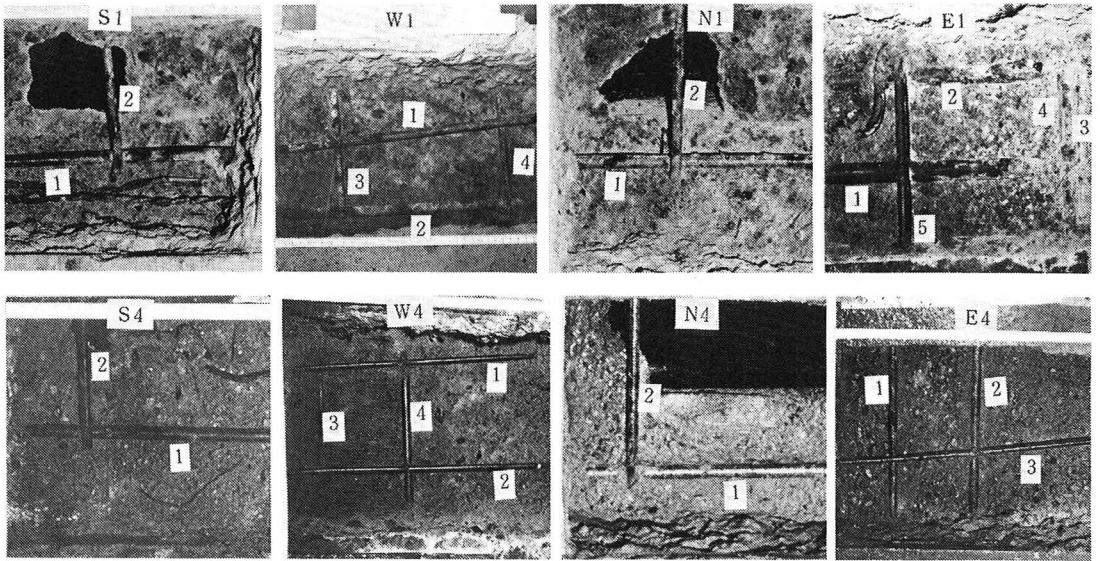


写真2 鉄筋の状況

リートに剥離、剥落があった。

2) シュミットハンマーの反発硬度から求めた圧縮強度とコア供試体のそれはほぼ同じ値を示した。また、コア供試体の超音波速度と圧縮強度はよい相関を示した。

階段、スラブのすべての階層で求めたシュミットハンマーによる強度試験の結果、圧縮強度は $140 \sim 450 \text{ kgf/cm}^2$ に分布していた。この強度分布には特定の傾向がみられ、スラブの圧縮強度が階段のその約65%であり、北西面のスラブの圧縮強度は、南東面のその約75%で、その最小値は 142 kgf/cm^2 であった。タワーの圧縮強度は、階段、スラブのそれと同程度かやや低かった。各箇所の測定結果により、建造物全体としては比較的高い強度レベルを維持しているものの、北西面のスラブの圧縮強度は相対的に低いことが明らかになった。

3) フェノールフタレインエタノール溶液によって中性化と判定された箇所では、粉末X線回折の結果、 CaCO_3 の生成が、また、未中性化と判定された箇所では Ca(OH)_2 の残存が確認された。

階段、スラブのすべての階層及びタワーで求めた中性化深さは $4 \sim 24 \text{ mm}$ であった。脆弱部を除き、中性化は比較的浅く、鉄筋の位置までは達していなかった。

4) コンクリートの空気量の測定結果から、使用されているのは non A E コンクリートであり、配合推定試験の結果から、スラブとタワーはほぼ同じ配合のコンクリートであることが明らかになった。細孔構造の測定の結果、北西面のスラブなど劣化が進んでいる箇所では細孔構造が粗大化していることが確認できた。

5) 鉄筋は全く腐食していないか、部分的に浮きさが認められる程度であり、ほぼ健全な状態にあった。コンクリートのひびわれは表層部にとどまり、内部にまでは進展していなかった。

以上の結果から、冬季間日当たりがよく、かつ、飽水度も高くなると思われる部材、部位の主に表層部を中心に凍結融解作用による劣化が進行していることが明らかになった。したがって、耐久性、安全性（落下防止）、外(美)観の回復を目的とした本格的な補修工事が望まれる。

本調査の遂行にあたり御協力いただいた北見市総務部、都市住宅部及び北見工大コンクリート研究室の学生諸氏、並びに、日頃御指導御鞭撻をいただいている林正道北見工大学長に篤く御礼申し上げます。