

長期材齢コンクリートの調査研究

(11. 材齢28年の体育館2棟)

川上英男*

Investigation of Old Building Concrete

(11. Two Gymnasiums 28 Years Old)

Hideo KAWAKAMI

(Received, Aug.10. 1984)

Natrium chloride concentration in concrete from sea environment can be the cause of the deterioration of reinforced concrete building, as well as the carbonation of the hydrated cement.

The paper reports the results of investigations of two reinforced concrete gymnasiums, named K gym. and N gym. They are located at coastal area of Japan Sea in Hokuriku district of central Japan. The distance from the seashore are 800 meters and 4 kilometers respectively.

The carbonation penetrated through finish mortar(1 cm thick) into concrete 1.2 cm at outside and 2.9 cm (without mortar) at roomside in K gym. And in N gym, the carbonation was limited to the finish mortar (1.2 cm thick) at outside and 1.9 cm (without mortar) at roomside.

In K gym, the maximum NaCl concentration in concrete wall was found at surface and it decreased at inner portion. The value at 3 cm from the concrete surface (typical concrete cover for the reinforcing steel) was 0.066 % of sand weight, 1.6 times larger than the allowable limit specified in Japanese Architectural Standard Specification for the sea sand usage. While the value at N gym. was found to be 0.01 percent.

* 建設工学科

1 まえがき

近年コンクリート用骨材としての良質河川骨材が枯渇するに伴い、山砂、山砂利、海砂、海砂利、砕砂、砕石が用いられるようになっており、これらに対する依存度は今後益々大きくなる状況にある。その中でも中国、九州地方をはじめ海浜地域では海砂、特に海底砂が多用されるに至っている。ところでこの場合には砂に付着する塩分がコンクリートに混入し、そのために鉄筋腐蝕を招く危険がある。そこで日本建築学会標準仕様書5 鉄筋コンクリート工事（以下JASS 5 と略記する）にはその塩分含有量を、一般の場合、砂の0.04%（NaClの重量比）以下と規定している。

一方、最近、土木、建築の構築物における塩害、特に沖縄における被害例が報道され、この種の損傷に一般の関心をも集めるに至った。

筆者はかねてから長期材齢コンクリートの調査を行ってきた成果の中から、建物によってはコンクリート中に海浜環境より浸透したとみられる塩分が上記規制値より格段に大きい場合があることを報告し、海砂使用によって新築当初より内在する場合もさることながら、あとから外部環境より浸透蓄積する塩分に警戒すべきことを指摘してきた。^{1)~5)}

この後者については海浜環境、建物の立地条件、仕上げ、コンクリートの材質など関与する因子が多く、塩分量の実態や蓄積過程についてはまだよく解明されていない。この問題に対しては理論的、あるいは実験的研究も大切であるが、現象が長年月のプロセスであるだけに、実例の調査データの蓄積は極めて貴重なものと考えられる。

本調査の2例は材齢28年の鉄筋コンクリート体育館で、昭和57年10月～11月に行った耐久性調査に際して、コンクリートコアを採取して、塩分量の調査をも併せて行ったものである。これら2体育館は同様の設計で同時期に建築されている上、同地域にあって、日本海からの距離はそれぞれ800mと4kmで、海浜よりの距離と塩分の蓄積との関係考察にも好適である（図1参照）。

以下にはこの2例の耐久性調査結果を述べると共に、併せて塩分蓄積の調査結果を報告するものである。

2 K中学校体育館

2.1 建物概要

(1) 規模及び仕上げ

体育館は鉄筋コンクリート造平屋建で、その平面は張間20.0m、桁行27.27mの長方形である。軒高は7.35mである。配置図を図2に、平面図と断面図を図3に、各立面図を図4～図7に示す。また建物全景を写真1に示

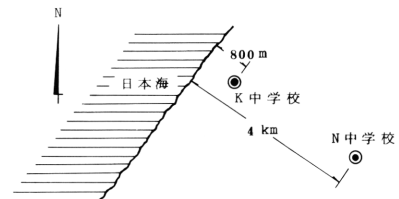


図1 調査対象の位置

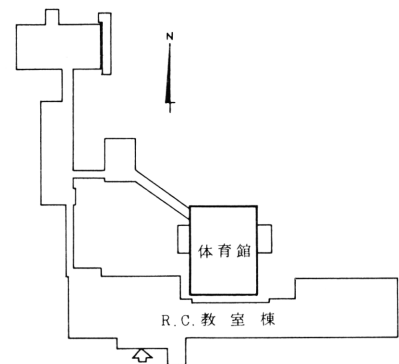


図2 K中学校体育館 配置図



写真1 K中学校体育館 東・北面

す。

屋根は鉄骨山形トラスに日本瓦葺き、外壁はモルタル塗り羽毛引き仕上げで、窓建具及び出入口引戸は木製である。

天井は鉄骨トラス上弦材面に木毛セメント板張り、壁はしっくい塗りで、下部2.2 mの高さ以下は堅羽目板張りである。床は縁甲板張りである。

(2) 経歴

昭和29年に新築、その後現在までに地震、火災等の災害を受けたことはない。補修工事は一切行われていない。また、校舎の建替に伴い、その都度、渡り廊下の付け替えや器具庫の付設が行われてきた。構造部材の補強が行われた形跡は見当たらない。

(3) 構造概要

桁行方向の柱間隔は4.51 mである。周囲の鉄筋コンクリート造柱の頂部に、張間方向に鉄骨山形トラスをかけ、それら主トラスの中間にサブビームとしてラチス梁をかけてある。地震時等の水平力に対しては、張間方向には各トラス構面と両妻の壁が、また桁行方向に対しては周囲の鉄筋コンクリート造壁付ラーメンが、これに耐える方式となっている。

主要柱の断面寸法は、47 cm (幅) × 80 cm (丈) である。断面内には、鉄骨が用いてあるものと思われる。主要柱の小径 (45 cm) と柱長さ (735 cm) の比は約 1 : 16.3 である。壁体のコンクリートの厚さは、コアによれば桁行方向 11.1 cm ~ 14.2 cm, 妻 15.3 cm ~ 16.3 cm である。

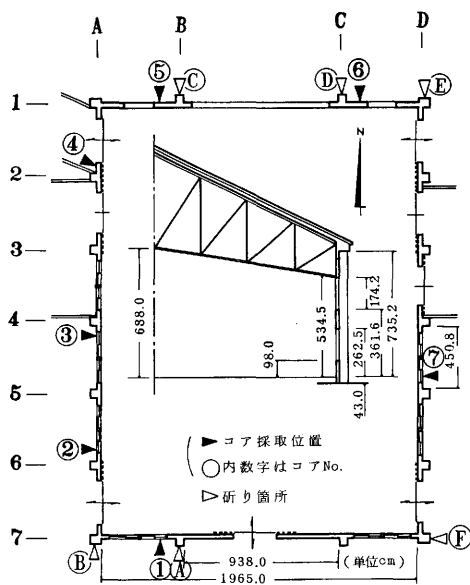


図3 平面図, 断面図, コア採取位置

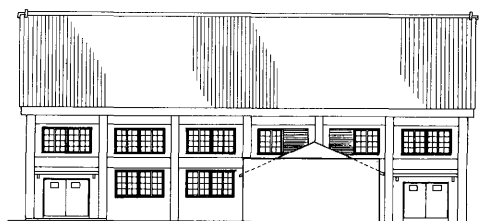


図4 東立面図

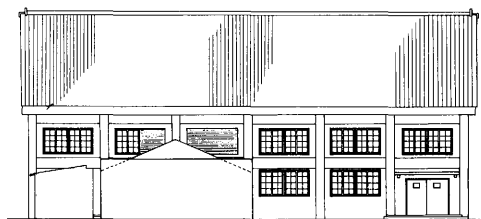


図5 西立面図

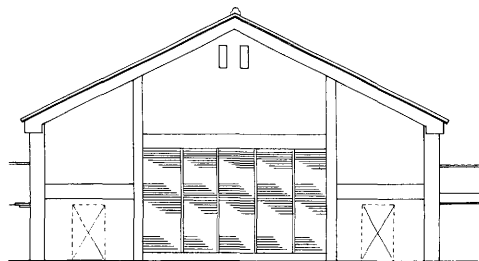


図6 北立面図

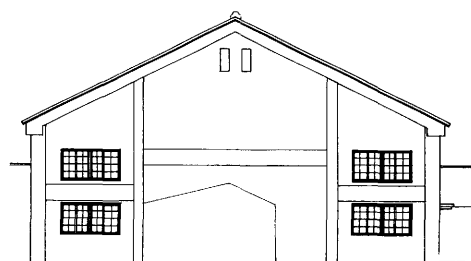


図7 南立面図

2.2 建物の現況

(1) 不同沈下及び傾斜

鉄筋コンクリート本体には、不同沈下を示唆する斜め亀裂は認められず、その耐力に影響を及ぼすような不同沈下は生じていないものとみなされる。

一方、南部の東及び西出入口のポーチスラブは、それぞれ3 cm、及び2 cmの沈下が生じ、そのため大きいひびわれが生じている。

また、床の高低を18ヶ所で計測した結果、その高低差は7.2 cmに及ぶ。根太、大引、床束など床下構造材の腐朽が著しいことが床板の部分補修時に認められており、これが原因と考えられる。

7本の柱の両側に対して、上下222 cmの区間の傾斜を下げ振りで測定したが、一貫した傾向が認められず、構造体には傾斜は生じていないものとみなされる。

(2) 内部損傷状況

鉄骨トラスには、部材の彎曲など構造耐力に影響するような変形は見当たらず、また顕著な錆も認められないので、ほぼ健全な状態にあるものと判定される。

天井の木毛セメント板にはボール等の衝突によって破損した孔が全面にわたって随所に分布している。腰羽目にも破損箇所がある。床の縁甲板は局部的なつき張りが随所に施されており、その他では全面にわたって摩耗、角欠けが著しい。

(3) 外部損傷状況

屋根には見かけ上の損傷はないが、調査数日前に西側部A～B、3～5間において広範囲の雨漏りがあった。窓建具は建て付けが悪くなり、開閉に支障をきたすものが多い。

木造のケラバや軒端にはひびわれが随所にあり、損傷の著しい部分ではモルタルが下地共に剥落している。木造部の腐朽の最大のは東側器具庫で、ここでは軒、柱脚、土台など構造材が海綿状に腐朽し危険であるので早急に撤去すべき状態にある。雨樋は、横樋、縦樋共に腐蝕、欠落して全

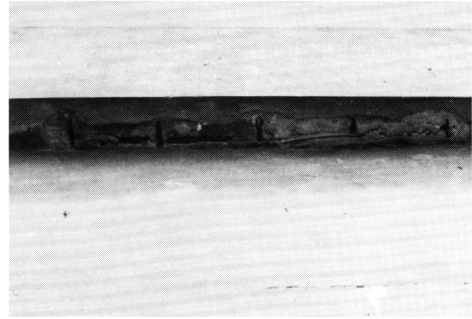


写真2 北妻桁主筋と肋筋の腐蝕



写真3 東面柱のたてひびわれ

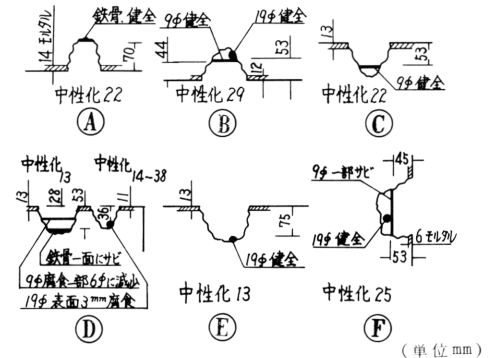


図8 析り調査結果

表1 中性化調査結果

	調査 個所数	中性化厚(mm)	
		範囲	平均
*仕上モルタル	13	3-14	9.4
コンク リート	(外側)	0-25	12.0
	(内側)	18-36	28.6

*) 1例を除き全厚中性化

くその用をなしていない。窓上下端の鉄板の錆は著しい。

鉄筋コンクリートモルタル仕上げ部では、ひびわれ、モルタルの剥落、鉄筋の露出、腐蝕などの局部的損傷が随所に生じている(写真2)。これらは、鉄筋コンクリートのかぶり量が比較的少ない部分に生じたものであって、モルタルやコンクリートの中性化及び塩分の浸透によって、鉄筋が腐蝕膨張したことによるものである。

これらは窓周囲、庇、壁体、妻桁などであるが、写真3に示すものは主要柱D・2のたてひびわれであって、柱主筋の腐蝕膨張を示唆しており、構造体の耐力への直接的影響が懸念される。これと同種のひびわれは、他の柱A・4、A・6、B・1、D・6、D・7にも認められる。

2.3 コンクリートの中性化と鉄筋の腐蝕

柱脇の壁体より採取したコア7本及び柱外部の研り穴6ヶ所についてフェノールフタレンアルコール1%溶液を散布して、アルカリ赤変反応からコンクリートの中性化深さを調査した。これらの調査にあたっては、予め鉄筋探知器によって内部鉄筋の位置を探査し、コアに対しては鉄筋を避け、研り穴の場合は鉄筋のある箇所を研った。調査箇所及びコア採取箇所を図3に示した。

調査結果は図8及び表1に示すとおりである。

中性化深さは、研り調査とコアの調査から、建物外側では仕上げモルタル層(3~14平均9.4mm厚)はほとんどの場合全厚に達し、更に躯体コンクリートでは0~2.5cm、平均1.2cmとなっている。

建物内部ではコンクリートの中性化厚は1.8~3.6cm、平均2.86cmである。

従来、経過年数(t)と中性化深さ(xcm)について提案されている(1)式によれば中性化深さは2cmと算定され、調査結果はその1.46倍を示していることになる。

$$t = 7.2x^2 \dots\dots\dots (1)$$

研り箇所では一例を除いて、すべて中性化は鉄筋にまで達していない。しかし、北側妻柱(C・1-No.14)のたてひびわれ部を研ってみると、ジャン力部であり帯筋は腐蝕のため有効断面積は約 $\frac{1}{2}$ に減少しており、奥にみられる鉄骨の表面も腐蝕が著しい。すなわち、これらの腐蝕膨張がたてひびわれの原因とみられるものである。これと同種のたてひびわれの箇所は前述の通りであり、これらの部分でも同様に鉄骨、鉄筋が腐蝕しているものと推定される。

2.4 コンクリートの圧縮試験

コアの仕上げモルタルを除去し、硫黄キャッピングを施し、気乾状態(10日間室内に保存)で、圧縮試験を行った。試験結果を後掲の表3に示す。高さが20cmに満たないコアでは形状による補正係数(JIS A 1107<1978>参照)を乗じた圧縮強度を算定した。

この結果によれば、圧縮強度は160~215kg/cm²、平均193kg/cm²、母標準偏差22kg/cm²である。すなわち設計基準強度としては170kg/cm²を見こめることになる。

2.5 コンクリートの化学分析

圧縮試験後のコアを丹念にハンマーで破砕して、粗骨材とモルタル部に分離し、このモルタル部を縮分したものを試料とする。これを電気炉(700℃)に2時間以上保ち、徐冷後、希塩酸(1:9)で処理し、水洗後の不溶残分を砂、溶解分をセメントとみなす方法でコンクリートの絶乾重量調合比を算定した。

結果はセメント:砂:砂利は1:2.8:2.6であった。

3 N 中学校体育館

3.1 建物概要

(1) 規模及び仕上げ

体育館は鉄筋コンクリート造平屋建で、その平面は張間20.0m、桁行27.27mの長方形である。軒高は7.68mである。配置図を図9に、平面図と断面図を図10に、各立面図を図11～図14に示す。また建物全景を写真4に示す。

屋根は鉄骨山形トラスに日本瓦葺きとなっている。外壁は新築当初はモルタル仕上げであったが、後年になってこれにモルタルを上掛けしアクリルリシン吹付けを行った。基礎立上りは鉄平石張りである。

天井は鉄骨トラスの上弦材面に木毛セメント板を張り上げてある。床は昭和51年に全部張り替えてフローリング張りとした。昭和54年1～3月、木製建具をアルミサッシュ及び鉄扉に取り替えた際に上記外装に加えて、内壁はモルタル塗り直しラフトン吹付け、腰羽目板は合板(9mm厚)オイルペイント塗りに張り替える工事を行っている。この際、軒樋、堅樋、換気孔などの取り替え、補修も行った。

(2) 経歴

昭和29年に新築、その後現在までに地震、火災等の災害を受けたことはない。補修工事については前述の通りである。また、校舎の建替に伴い、その都度、渡り廊下の付け替えや器具庫の付設が行われてきた。構造部材の補強が行われた形跡は見当たらない。

(3) 構造概要

桁行方向の柱間隔及び架構形式など構造体は前述のK中学校の場合と同様である。

主要柱の断面寸法は、図10に示すように52cm×80cmである(仕上げ面)。主要柱構造部の小径(46cm)と柱長さ(768cm)の比は約1:16.6である。壁体のコンクリートの厚さはコアによれば13.1～15.6cmである。

3.2 建物の現況

(1) 不同沈下及び傾斜

鉄筋コンクリート造部分の外観には不同沈下を示唆する斜め亀裂は認められず、その耐力に影響を及ぼすような不同沈下は生じていないものとみなされる。

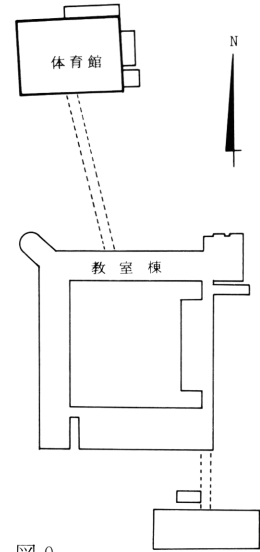


図9 N中学校体育館配置図



写真4 N中学校体育館 南・東面

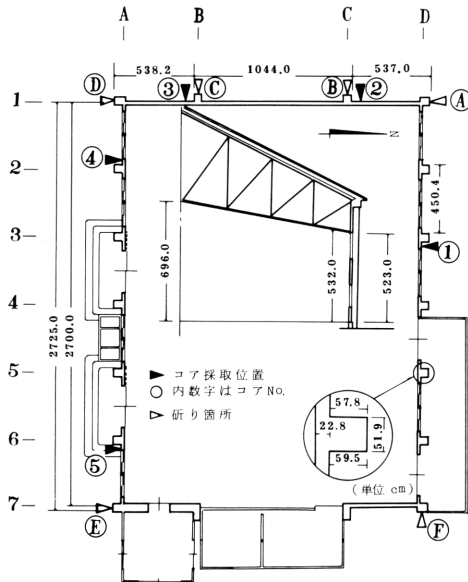


図10 平面図, 断面図, 調査箇所

一方、床の高低を10ヶ所で計測した結果、床の高低差は最大2.3 cmである。

柱の側面15ヶ所に対し、上下222 cmの区間の傾斜を下げ振りで測定した結果によれば構面は平均 $1/222$ 東に傾斜している可能性がある。南北方向には測定結果に一貫した傾向は認められないところから傾斜はないものと判断される。

(2) 内部損傷状況

鉄骨トラスには、部材の彎曲など構造耐力に影響するような変形は見当たらず、また顕著な錆も認められないので、ほぼ健全な状態にあるものと判定される。

天井の木毛セメント板にはボール等の衝突によって破損した孔が全面にわたって随所に分布している。壁面及び床は補修後の経過年数が浅いこともあって、特に顕著な損傷は見当たらない。

(3) 外部損傷状況

外壁は補修されているので、外見上の損傷としては、出入口庇裏のひびわれと汚れ（写真5）、及び壁面、仕上げモルタルのひびわれに止まっている。これらはいずれもモルタルの収縮が原因と見られるものであって、構造体コンクリートにまでは達していないものと推定される。

このように鉄筋コンクリート構造体の損傷実態は外観上からは把握しにくい状況であるので、コアを採取して、その材質試験を行うと共に、研り孔をあけてコンクリートの中性化深さ及び鉄筋の腐蝕状態を調査した。

3.3 コンクリートの中性化と鉄筋の腐蝕

柱脇の壁体より採取したコア5本及び柱外部の研り穴6ヶ所について前述の区中学校の場合と同様にコンクリートの中性化深さを調査した。調査箇所及びコア採取箇所を図10に示した。

調査結果は図15及び表2に示すとおりである。

中性化深さは建物外側では仕上げモルタル層に止まり、躯体コンクリートにまで及ぶものはただ2ヶ所、その中性化深さは1.1cm、平均は0.1cmにすぎない。上掛けモルタル内層は明瞭な赤変反

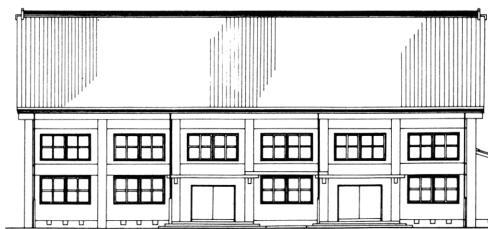


図11 南立面図

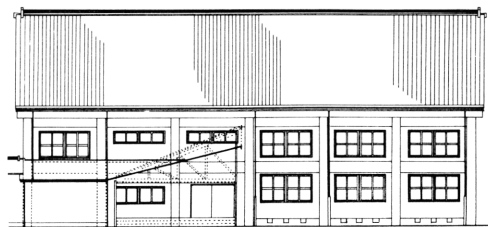


図12 北立面図



図13 東立面図

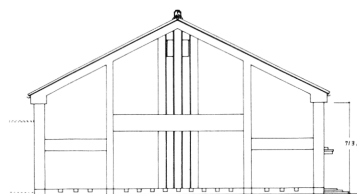


図14 西立面図



写真5 南出入口庇、ひびわれと雨水の浸透

応によって、その健全さを示している。下層モルタル(0.4~2.1平均1.2cm厚)は新築当初のものでほぼ全厚が中性化している。モルタル厚1cmのK中学校と比べると、モルタル厚はやや大きいのが中性化防止効果は格段に差があるところから、モルタルの材質すなわち調合に差があったことがうかがわれる。建物内部ではコンクリートの中性化厚は0.2~3.3cm,平均1.9cmである。前掲の(1)式による算定値2cmにほぼ近い値となっている。

これらの中性化はすべて鉄筋にまで達していない。フープ筋の内,1例だけはわずかに錆の見られるものもあるが、ほぼ健全であり、主筋には錆は全く認められない。

3.4 コンクリートの圧縮試験

コアの圧縮試験を前述のK中学校の場合と同様に行った。

この結果によれば、圧縮強度は133~325kg/cm²,平均217kg/cm²,母標準偏差87kg/cm²である。すなわち設計基準強度としては130kg/cm²を見こめることになる。

3.5 コンクリートの化学分析

モルタル及び圧縮試験後のコアに対して前述2.5と同様の方法で分析を行い、それらの絶乾重量調合比を算定した。

結果は表3に示す通りである。すなわち、モルタルのセメント・砂比の平均は、外掛けモルタルでは2.04,下層(旧)モルタルでは2.4で補修時の外掛けの方がやや富調合である。またコンクリートのセメント:砂:砂利の平均は、1:2.75:5.27である。

4 塩分蓄積

コンクリート中の鋼材は、コンクリートのpHが約10以上ではFe(OH)₂の保護被膜で包まれて

表3 モルタル及びコンクリートの調合分析

	No. 1			No. 2			No. 3			No. 4		No. 5	
	外モルタル	内モルタル	コンクリート	外モルタル	内モルタル	コンクリート	外モルタル	内モルタル	コンクリート	コンクリート	外モルタル	内モルタル	コンクリート
モルタル絶乾重量			734.22			733.63			240.99	650.65			849.51
粗骨材絶乾重量			994.08			1204.35			391.55	788.63			1101.96
分取モルタル量	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	50.00	104.16	50.00	50.00	50.00
700℃強熱後	47.30	46.37	46.91	48.01	46.48	46.21	47.40	46.00	47.79	98.82	47.12	46.62	47.90
強熱減量	2.70	3.63	3.09	1.99	3.52	3.79	2.60	4.00	2.21	5.34	2.88	3.38	2.10
洗い試験後	31.66	31.94	35.78	31.46	32.29	32.57	31.01	33.97	32.32	78.26	33.32	32.11	33.27
溶解量	15.64	14.43	11.13	16.55	14.19	13.64	16.39	12.03	15.47	20.56	13.80	14.51	14.73
セメント:砂 ※	1:2.024	1:2.213	1:3.215	1:1.901	1:2.276	1:2.388	1:1.892	1:2.824	1:2.089	1:3.81	1:2.414	1:2.213	1:2.259
:砂利 ※	—	—	:5.707	—	—	:5.562	—	—	:5.019	5.83	—	—	:4.227

※ 重量比

単位(g)

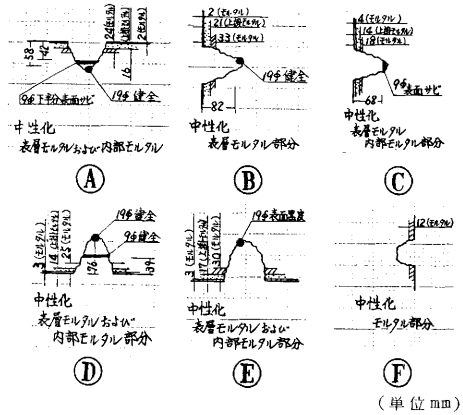


図15 筋り調査結果

表2 中性化試験結果

	調査箇所数	中性化厚(mm)		全厚
		範囲	平均	
外掛	11	2 ~ 12		
モルタル 中	11	0		0
下層(旧)	11	4 ~ 21		12.1
コンクリート (外側)	11	0 ~ 11		1
(内側)	5	2 ~ 33		19

不動態化しているので錆びない。しかし Cl^- が存在すると $\text{Fe}(\text{OH})_2$ の被膜が破壊されることによって鋼材の腐蝕が進行する。鋼材は腐蝕によって体積が膨張するので、それより表層部のかぶりコンクリートを押し広げてひびわれを生ぜしめ、これが空気、水、塩分の浸透を容易にし、腐蝕は急激に進行することになる。すなわち鉄筋コンクリートの寿命は著しく縮められる。

外部環境よりコンクリートに浸透蓄積する塩分は、建物表面近くで最も大きく、内部に向うにつれて減少する傾向にある。^{1)~5)} 本調査の目的はその塩分量の多少と、壁体内の塩分量の分布状況（外部より内部に向っての塩分量の勾配）を明らかにする点にある。特に鉄筋コンクリートの塩害を対象とするときは鉄筋表面付近の塩分量が問題である。

4.1 調査方法

前述のコンクリートコアは壁面に直角に壁厚全部を抜き取ったものであるので、圧縮試験後のコア（10 cm ϕ ）を約2 cm程度の厚さに輪切りにすることで、壁断面内各部の試料とすることができる。仕上げモルタルについても下地及び上掛け各層それぞれを試料とした。

これらをそれぞれ、丹念にハンマーで破碎して、粗骨材とモルタル部に分離し、このモルタルをさらに Mortar Grinder (MRK-RETSCH, Mitamura Riken Kogyo) で 0.15 mm 以下に微粉碎したものを分析試料とした。

4.2 分析方法

分析試料に蒸留水を加えて24時間以上経過後、その上澄水又は濾過水に対して塩化ナトリウムの分析を行った。

塩化ナトリウム定量には硫シアン酸滴定法 (Volhard 法) を採用した。クロム酸指示薬法 (Mohr 法) 又は吸着指示薬法 (Fajans 法) では、試験操作は容易であるが、変色の判定が明確でない場合があるのに対し、Volhard 法では一旦塩化銀の沈澱を確認してから、過剰の硝酸銀を滴定するので、二重のチェックを意味する点で信頼性が大きいと判断したためである。

また、分析試料に蒸留水を加えて80℃に1時間以上保ち、1時間放冷後に同様の分析を行うことも試みた。同一試料に対して、これらの2方法を採用した結果は後述の表5（*印）にみられるように大きい差は見られなかった。

4.3 分析結果

分析結果（2回の平均値）を他の試験結果と併せて表4、表5に示す。同表の塩分含有量は輪切りにしたコンクリートの平均値であるので、図16、図18にはその厚みの範囲と塩分量との関係を示した。図17、図19は各厚みの中央に分析値をプロットしたものであって、各コアの屋外表面と屋内表面とをそれぞれ同位置に合わせた図としてある。

K中学校では、いずれのコアにおいても壁厚中央部では塩分は検出されず、壁体表面に近い程塩分含有量が大きくなっており、これらの塩分は28年の間に壁体外部より浸透蓄積したものであることを示している。壁体外面付近の塩分量は1例を除いて0.1~0.5%（対砂）とJASS 5の許容量の0.04%に対して格段に大きい値を示している。これらの塩分量は壁内部に向う程減少しており、その減少度合は屋外側に比べて屋内側の方が大きい。屋内では直接外気に接していないためや窓の開閉によって空気中の塩分濃度が少ないためと考えられる。

鉄筋に対するコンクリートのかぶりを3 cmとすると、その位置での塩分量は、屋内側では0.03%（対砂）以下に止まっているが、屋外側では0.02~0.15%平均0.066%（対砂）に達し、海砂使用の

際の許容量 0.04% を超えている。かぶり 4cm の主筋表面では平均 0.042% を示している。

仕上げモルタルの塩分量はそれより内側にあるコンクリート表面付近の塩分量よりも少ない。

N 中学校では、壁中央部で塩分が検出されないこと、表面付近塩分量が大きいこと、仕上げモルタルの方が内部コンクリートより塩分量が少ないことでは K 中学校と傾向は同じである。

しかし塩分量そのものは K 中学校に比べて少なく、外側表面付近の平均値は 0.10% であって、K 中学校の 0.18% (対モルタル) に対し、56% にすぎない。またコンクリート内 30mm 付近の塩分量は 0.007~0.02%, 平均 0.011% (対砂) であって K 中学校の 1/4 に止まっている。

4.4 考察

環境塩害に対して考えるべき要因としては、気候条件、海岸からの距離、仕上げ、コンクリートの材質、かぶり厚さが挙げられる。

本調査例は海岸からの距離の影響を比較できるものである。鉄筋位置すな

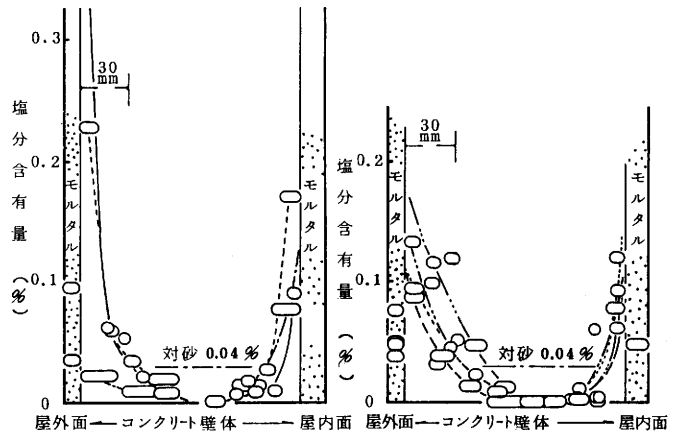


図16 K 中学校の壁体内の塩分量分布 (%対モルタル)

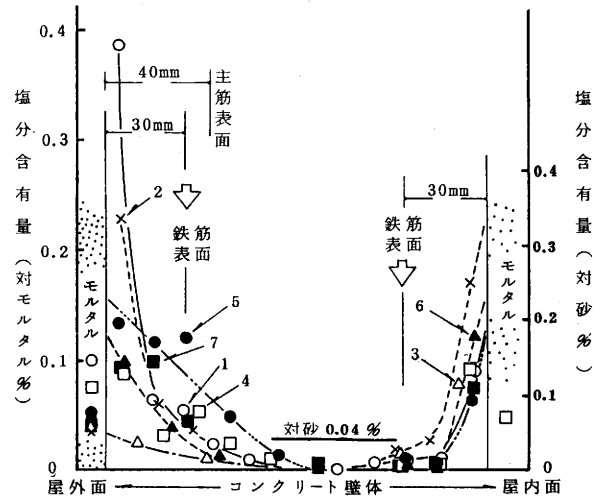


図17 K 中学校の壁体内の塩分量分布

表 4 K 中学校体育館コアの試験結果

コア No.	圧縮強度 (kg/cm ²) ヤング係数 (10 ⁸ kg/cm ²)	絶対重量調合比 セメント: 砂: 砂利	塩分含有量 (モルタル部分に対する%)					コンクリート中性化深 (cm)		
			仕上モルタル	(外側)	コンクリート	(室内側)	外側	室内側		
1	185 3.54	1 : 2.84 : 2.57	0.096	0.386	0.054	0.009	0.007	0.011	1.3	2.8
2	215 3.26		0.063	0.228	0.038	0.002	0.009	0.090	1.1	2.4
3	177		0.061	0.225	0.009	0.014	0.027		0.4	3.3
4	209 3.69		0.075	0.087	0.052	0.009	0.002	0.091	1.9	3.0
5	160 1.25		0.032	0.131	0.118	0.012	0	0.005	1.9	3.6
6	211 3.26		0.115	0.093	0.013	0.003	0.120		1.3	3.1
7	—		0.048	0.093	0.045	0.001	0.002	0.075	1.9	1.8
		0.039	0.098	0.006	0.006					

わちコンクリート表面より3cmの深さの塩分量は、海岸から800mの位置のN中学校では0.066%（対砂）であって、JASS 5の許容量0.04%を超えしめないという観点からすれば、コンクリート圧縮強度は通常の品質であるところから、仕上げ材に工夫が要ることを示している。

また海岸から4kmはなれたN中学の場合は、その値は0.01%（対砂）であって、塩害に対して安全であった事を示している。仕上げはやり直されているものの、その時期は調査時の3年前にすぎないので、その影響は小さいと考えられる。もっとも経過年数と塩分蓄積との関係は本調査例からは把握できないが、今仮に塩分量が経過年数に比例するとして、0.04%に達する期間を推定すると大よそ110年程度となる。その時期には、中性化現象もかなり進行することが想定されるの

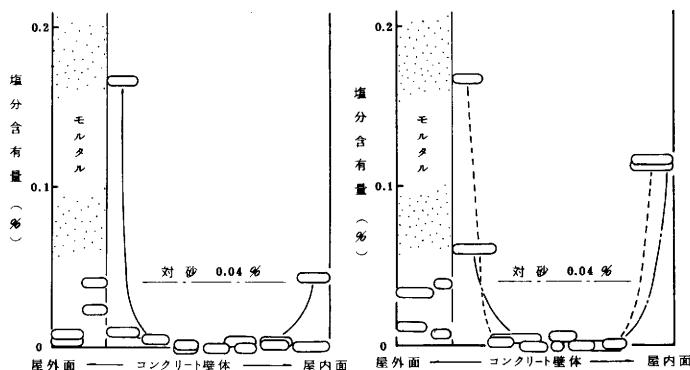


図18 N中学校壁体内の塩分量分布(%対モルタル)

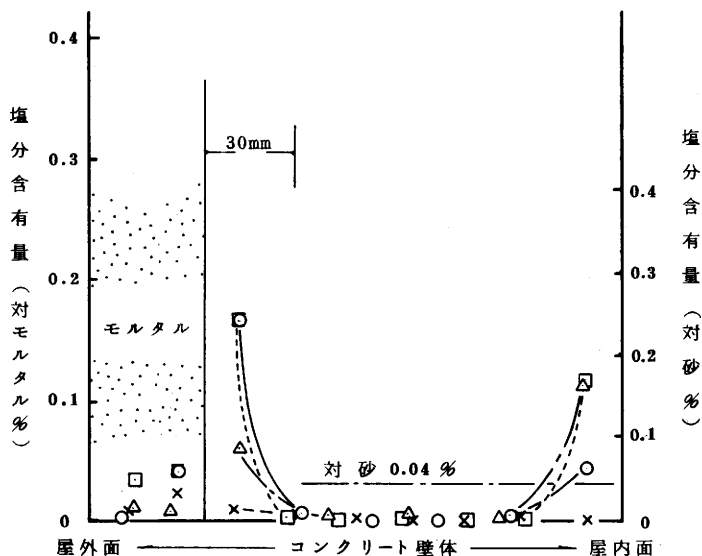


図19 N中学校の壁体内の塩分量分布

表5 N中学校体育館コア試験結果

コア No	圧縮強度 (kg/cm ²) ヤング係数 (10 ⁴ kg/cm ²)	コンクリート絶対重量割合 セメント: 砂 : 砂利	塩分含有量 (モルタル部に対する%)						コンクリート中性化深 (cm)		
			仕上モルタル	(外側)	コンクリート	(室内側)	外側	室内側			
1	133	1.0 : 3.2 : 5.71	0.002 0.040	0.167	0.005	0.002	0.005	0.004	0.05	0.3	3.3
2		1.0 : 2.4 : 5.56	0.009 0.023	0.200*	0.005*	0.005*	0.005*	0.0035*	0.037*	1.1	2.3
3	325	1.0 : 2.1 : 5.02	0.012 0.007	0.060	0.005	0.006	0	0.113		0	1.5
4	162	1.0 : 3.8 : 5.83								0	2.2
5	247	1.0 : 2.3 : 4.23	0.034 0.040	0.167	0.001	0	0	0.001	0.116	0	0.2

(* 80℃抽出液)

で建物の寿命はその面から定まってこよう。したがって環境塩害としては考慮するに及ばないことを示している。すなわち通常のモルタル仕上げで充分である。

海岸からどれだけの距離に接近するまで、この程度の仕上げで充分であるかについては、外気中の塩分濃度が問題であるので、目下別途に調査を行っている。

5 む す び

北陸地方における材齢28年の鉄筋コンクリート造体育館2棟の調査結果から耐久性に関連する事項をまとめれば大よそ次のようである。

- 1) コンクリートの中性化は在来の提案式で算定される値2cmに対して、屋内側(板張り)でK中学校では2.86cm(43%増)、N中学校では1.9cmでほぼ算定値に等しい結果を示した。建物外側では、モルタル仕上げの効果によってコンクリートの中性化はK中学校では平均1.4cm、N中学校では一部を除いてほとんど認められなかった。
- 2) コンクリートの塩分蓄積量は、外表面付近が最も大きく、内部に向う程減少する。この状況は屋内側についても塩分量そのものはやや少ないが同様である。
- 3) 仕上げモルタルの塩分量はコンクリートより少なく、仕上げモルタルの塩分量からコンクリートの塩分量を推定すると危険側となる。
- 4) コンクリート内の塩分分布から、鉄筋位置すなわちコンクリート表面から3cmの位置の塩分量を求めると、海岸から800mのK中学校の場合0.066%(対砂)であって、JASS5の許容量0.04%以下に保つためにはこのモルタル仕上げ(平均1cm厚)では不充分であることを示した。一方海岸から4kmのN中学校の場合はその値は0.01%(対砂)に止まり、この位置ではこの程度のモルタル仕上げをしておけば環境塩害としては考慮する必要がないことを示した。

海岸付近の鉄筋コンクリート造の耐久性にとって、環境塩害の問題は極めて重要である。その実態の把握と水密性、気密性の仕上げなど対策の樹立と普及が望まれる。

参 考 文 献

- 1) 川上英男 第2回コンクリート工学年次講演会講演論文集 pp.21~24, 1980.
- 2) 川上英男 第3回コンクリート工学年次講演会講演論文集 pp.181~184, 1981.
- 3) 川上英男 日本建築学会大会(九州)学術講演梗概集, 構造系 pp.417~418, 1981年9月.
- 4) H. KAWAKAMI Transactions of the JCI pp.133~140, 1981.
- 5) 川上英男 日本建築学会大会(東北)学術講演梗概集, 構造系 pp.217~218, 1982年9月.
- 6) 川上英男 日本建築学会大会(北陸)学術講演梗概集, 構造系 pp.219~220, 1983年9月.