

論文 築 72～77 年の RC 倉庫群および事務所の劣化調査

古賀 一八^{*1}・長谷川 淳^{*2}・吉岡 昌洋^{*1}

要旨:大正 12 年から昭和 4 年にかけて建設された RC 造 2 階建て事務所および RC 造平屋倉庫 22 棟中現存していた 10 棟からなる倉庫群について、老朽化による解体に伴い現在の劣化状況を確認するために調査を行った。調査の結果、倉庫の長さが 81.96m あり、コンクリートを長距離斜めシュートで打ち込んでいたことが原因で、大半のコンクリートが分離し、強度、密度、鉄筋腐食など劣悪な状況であった。

キーワード: RC, 劣化, 施工, 記録

1. はじめに

今回調査した倉庫群は大正 12 年から昭和 4 年に建設された RC 造の 2 階建て事務所および平屋倉庫の 22 棟中現存する 10 棟からなる。「米騒動」「米穀法制定」を機に着工し、工事途中の関東大震災、その後の東京大空襲を経て、平成 12 年度まで使用されていた。このように、激動の時代の食料行政を担ってきた、誇るべき歴史的建造物である。建物は湿地対策として床下から表土まで 1.35m の高床吹抜け構造となっていたが、激しい地盤沈下 1 m～0.4m でその面影はない。老朽化による解体に際して、築 72～77 年経過後の RC 造の仕上げ・躯体の劣化状況、その原因ならびに補修状況などの調査を行ったので、当時の記録と併せて報告する。

主な調査対象の建物は倉庫 A～H10 棟中の E,F の 2 棟と事務所棟として庁舎を選定した。

2. 調査概要

2.1 調査日時

2001 年 5 月～6 月

2.2 調査項目

2.2.1 外観調査

構造体のひび割れ、鉄筋腐食等の劣化状況、充填状況、および仕上げ材の浮き、摩耗、変色、濡れなどを目視および打診により調査を行った。

2.2.2 詳細調査

(1) 躯体調査

主に下記の①～④に示す項目と鉄筋腐食、コンクリートのひび割れの関連性を明らかにする。また、コア抜き取り供試体について⑤～⑦の試験を実施した。

- ①鉄筋かぶり厚調査（はつり、電磁波レーダー法）、②塩化物イオン量調査（電量滴定法）、③中性化深さ調査（フェノールフタレイン法）、④補修材料・方法調査（目視）、⑤圧縮強度試験（コア強度）、⑥超音波伝達速度試験（透過法）、⑦動弾性係数試験（JISA1127）

(2) 仕上げ材調査

主として色モルタル洗い出し仕上げ、タイル仕上げ（積み上げ張り）が施されており、下記の項目について調査した。

- ①仕上げの劣化状況（浮き、剥落、摩耗、タイル接着力試験）および劣化原因調査
- ②仕上げの躯体保護調査（中性化、塩化物イオン量、かぶり厚不足部分の鉄筋防錆効果）
- ③ 内部仕上げ

2.3 その他

当該建築物は大正 12 年から昭和 4 年にかけて建設されたもので、当時の工事写真が現存しており、施工技術を知ることが目的に、鉄筋採取、コア採取による物性試験を実施した。

* 1 (株) 長谷工コーポレーション 技術研究所 工修 (正会員)

* 2 (株) 長谷工コーポレーション 建設部門 技術部

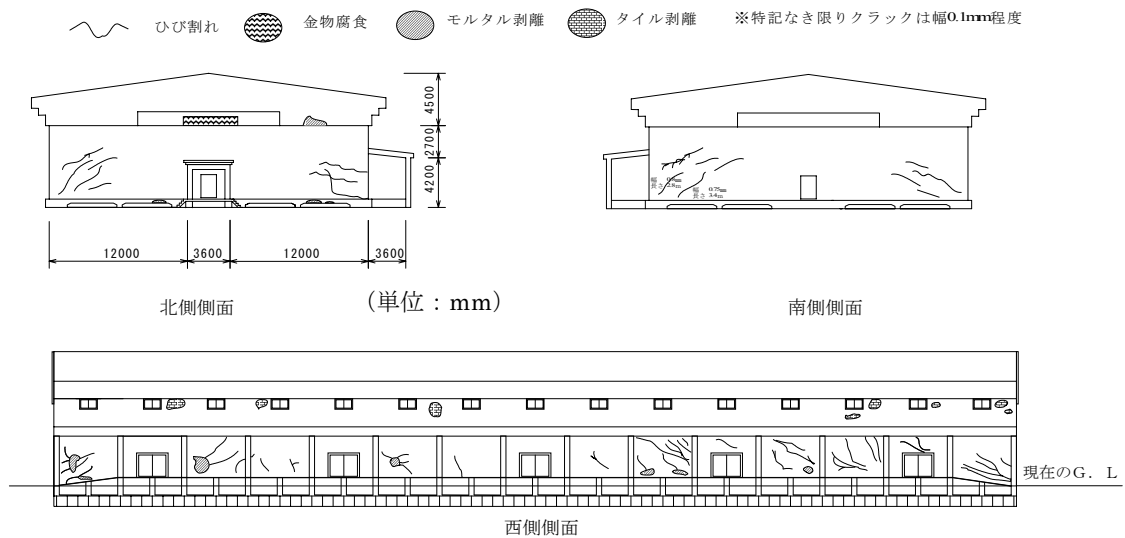


図-1 E倉庫外観調査結果

3. 外観調査

3.1 倉庫

E倉庫の劣化状況を図-1に示した。

(1) ひび割れ

建物の中央上部に向かって斜めにひび割れが多数見られた。不同沈下等の力学的な要因も考えられるが、竣工当初の写真でひび割れが確認されていること、傾斜の緩い長距離シュートを用いた分離の生じ易いコンクリートの打設方法（写真-1）や、はつり調査の結果、斜めひび割れ部はジャンカ、打継ぎ部が主要因であることが判明した（写真-2）。そのほか妻側外壁にも同様なひび割れが見られた。打継ぎ位置を詳細に観察した結果、セメントペースト、細骨材、粗骨材の順で層を構成していた。

また、通路側の柱には主筋腐食及び床下部の東部分に幅 5mm 程度のせん断ひび割れが見られた。

ひび割れ部には錆汁は認められないが、はつり調査により、外柱の過半に鉄筋腐食が原因のひび割れが観察された。（写真-3、写真-4）

(2) 鉄筋腐食

柱部の鉄筋腐食度は最も劣化が進んでいるグレードV（層状の錆が広がって生じ、断面積で 20%を超える著しい欠損を生じている箇所がある状態）であった。この様な場合、通常ひ



写真-1 コンクリート打設状況

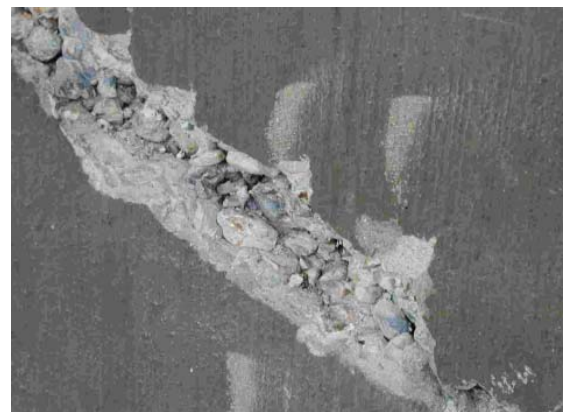


写真-2 ひび割れはつり後

び割れ部に錆汁が生じるが、表面に錆汁は認められなかった。はつり後の鉄筋目視の結果、腐食生成物がコンクリートの空隙に多量に吸収されていることが確認された。これは配合調査の結果、本建物に使用されたコンクリートの水セメント比が 78, 89%と高く、コンクリートがポ

ーラスな状態であることが原因と考えられる。これらの柱の劣化度は最も厳しい重度と判断される（写真-3，写真-4）。

鉄筋腐食によるひび割れやコンクリートの剥落は，他の柱および梁・庇にも多数観察され，いずれも劣化度は重度と判定された。鉄筋腐食の主な原因は，かぶり厚さ不足，塩化物イオン濃度などではなく，コンクリートの密実性が不十分であったためと考えられる。

(3) 部材断面

コア抜き調査の結果，壁厚は写真-5 に示すように，外側からコンクリート 150mm+アスファルトプライマー+日形大型煉瓦 225mm+コルク 10mm+発泡スチロール 25mm+モルタル 10mm（発泡スチロールから内側は断熱改修時に設置）であった。煉瓦はこのほか口型，日型，小型，中実煉瓦が使用されていた。室内床厚は下部からコンクリート 180mm+アスファルトモルタル 20mm+瀝青系発泡断熱材 40mm+コンクリート 100mm であった。倉庫のコンクリート壁内側には防水の目的でアスファルトが塗布されていた。通路のスラブ厚は 130mm で，上面に 5mm のモルタルが仕上げられていた。

(4) 仕上げ材の浮き・剥落

倉庫の仕上げ材は妻側および上階壁部が磁気質タイル積み上げ張り，その他は壁部，床，基礎および庇下部はセメントモルタル 2 回塗り金ごて仕上げ，柱・梁部は白色珪砂を種石に使用したセメントモルタル洗い出し仕上げであった。外観調査およびはつり調査の結果，仕上げ材の大部分が竣工当時のものであった。タイル仕上げ部分の劣化は，躯体のひび割れ部や鉄筋腐食部に集中しており，その他の部分は後述するタイル接着力試験結果からも明らかなように健全な状態を保っていた。

セメントモルタル洗い出し仕上げは鉄筋腐食等によるひび割れ部以外は健全な状態を保っていた（写真-6）。庇防水層の劣化，樋部分からの漏水により，雨樋部分の柱の汚れ・こけが多く見られた。



写真-3 柱のひび割れ



写真-4 ひび割れ柱はつり後

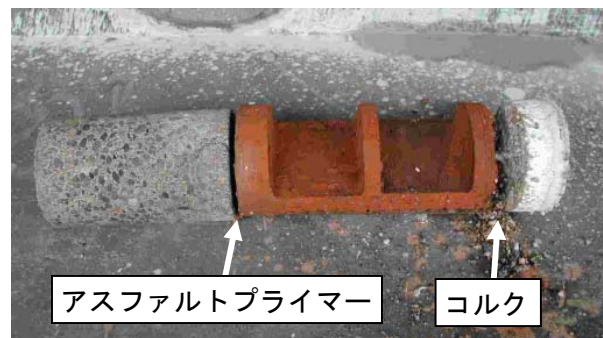


写真-5 倉庫壁断面



写真-6 洗い出し仕上げ

タイルやモルタル仕上げが健全にも関わらず、コンクリートの鉄筋が腐食していたのは、コンクリートが分離した状態で打ち込まれ、ジャンカによってポーラスな状態であった為で、仕上げ材の保護効果以前の問題であり、その様な状態のコンクリートに仕上げ材を施しても、保護効果は期待できないものと考えられる。

3.2 庁舎

庁舎に関しては内外装共に大規模な改修が行われたことが伺える。はつり調査の結果より、外壁は当初、蛇紋岩の種石を用いた洗い出し仕上げに石貼り調の目地が設けられていたが、改修の際にリシン吹き付けが上塗りされていた。

(1) ひび割れ

ひび割れは開口部周り、窓面台下部にみられた。はつり調査の結果、ひび割れはモルタル部分にのみ発生していた。また、面台下部のひび割れには面台からの漏水によるエフロレッセンスが発生していた（写真-7）。

(2) 鉄筋腐食

鉄筋腐食は内外柱壁共に鉄筋腐食グレードⅡ（表面に点錆が広がって生じている状態）が主で部分的にグレードⅢ（点錆がつながって面錆となり、部分的に浮き錆が生じている状態）が見受けられた。これは、倉庫が雨樋からの漏水等により長期間湿潤状態であったのに対して、仕上げモルタルや最上階の庇によって雨水の侵入が妨げられていた為と考えられる。（写真-7、写真-8）

(3) 部材断面

庁舎の柱断面は330×330と330×650の2種類があり、室内仕上げは施工当時の漆喰塗りの上に塗装が施されていた。外壁内側の壁は竣工当時漆喰仕上げであったものが、漆喰の下地を残し、30mmのセメントモルタル下地の上にドロマイトプラスター仕上げが施され、さら塗装が施されていた。外壁の壁厚は150mmで、内側に30mm、外側に15mmのモルタル仕上げ＋リシン仕上げが施されていた（写真-8）。

(4) 仕上げ材の浮き・剥落



写真-7 庁舎外壁劣化状況

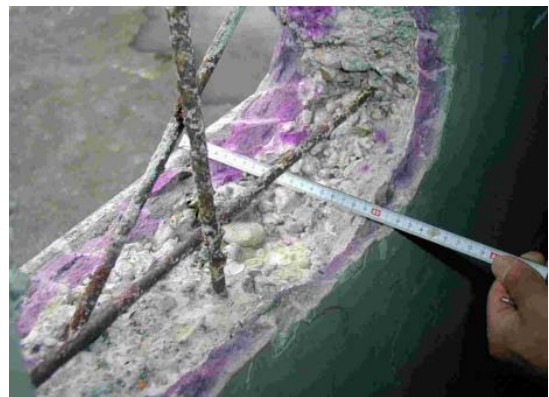


写真-8 庁舎外壁

写真-7 に示すように、仕上げ材の汚れ・エフロレッセンスなどは見受けられたが浮き・剥落などは見受けられなかった。

3.3 詳細調査

(1) 鉄筋かぶり厚調査

E倉庫外部柱帯筋かぶり厚さは平均値25mm、標準偏差2.7mm（最大値50mm、最小値0mm）、ピッチは平均99.5mm、標準偏差8.7mm（最大値160mm、最小値50mm）であった。他の倉庫（C,D,G,F）では、外部柱帯筋かぶり厚さは平均値23mm、標準偏差3.2mm、帯筋ピッチは平均111mm、標準偏差7.1mmであった。

庁舎においては、外壁のかぶり厚は平均46mm、標準偏差9.7mm、柱の外部かぶり厚は平均28mm、2階床中央のかぶり厚は下面25mm、上面60mmであった。

(2) 圧縮強度調査

コア抜き取り時に約1/3がジャンカなどにより採取できなかった。圧縮強度の平均値は13.7N/mm²、標準偏差1.7N/mm²であった（最大値22.0N/mm²、最小値8.1N/mm²）。採取した試

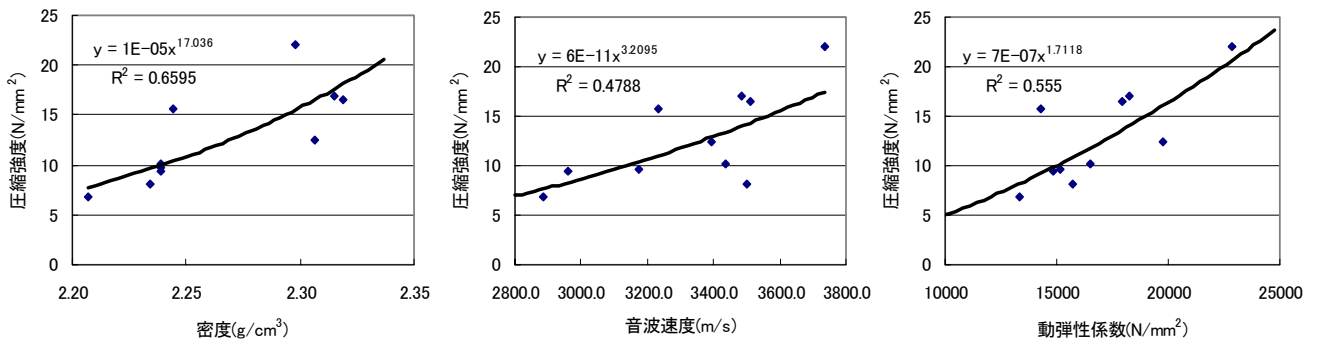


図-2 密度・超音波速度・動弾性係数とコア圧縮強度（気乾）

験体は密実性を欠くものが多かった為、密度測定、超音波伝達速度・動弾性係数等を測定した。

図-2 に密度、超音波伝達速度、動弾性係数と圧縮強度の関係を示した。

圧縮強度と比較的高い相関を得たのは、密度と動弾性係数であった。動弾性係数はコンクリートの密度と共振周波数から求められるもので、コンクリートの密実性を的確に表現できる。

超音波速度と圧縮強度の相関は高くはないが、現場で測定が可能であり、ジャンカ等による圧縮強度の極端な低下が評価できる可能性はある。

(3) 鉄筋引張強度調査

表-1 に鉄筋の力学的性質を示す。鉄筋断面は完全な円ではなく、明確な降伏点を示したものは19本中9本で、材質も強度も一定ではない。震災直後の物資不足を反映していると思われる。降伏点等より判断し、力学的性質はおおむね現規格のSR235とSR295相当が混在していた。

(4) 中性化深さ

倉庫の中性化深さはコンクリートの密実性の差に大きく左右され、室内外・仕上げの種類にかかわらず0~100mmであった。

庁舎でも同様な理由で0~300mmであった。コンクリート充填の不均一さの影響が大きく、部位、仕上げ材などの影響は確認できなかった。

(5) 塩化物イオン濃度

塩化物イオン濃度の最大値は639g/m³で沿岸部側にあるG倉庫外部柱表層部においてであったが、この濃度は鉄筋を腐食させる濃度ではない。また、倉庫内の柱やその他の外部柱では表層部と内部の濃度がほぼ同等であったこと等か

表-1 鉄筋の力学的性質

試験体 単位	径 mm	降伏点 N/mm ²	引張強度 N/mm ²	破断 位置	伸びσ (%)	ヤング率 ×10 ⁵ N/mm ²
壁(庁舎)	8.0	なし	374	C	-	2.88
壁(庁舎)	8.0	なし	632	C	-	2.62
壁(庁舎)	8.6	なし	557	A	22.2	2.24
壁(庁舎)	9.0	なし	502	C	-	2.30
壁(庁舎)	8.8	なし	274	A	26.0	2.32
壁(庁舎)	8.8	なし	455	A	21.4	2.38
壁(庁舎)	8.8	なし	451	C	-	2.27
主筋(庁舎)	14.8	なし	581	A	21.7	2.41
主筋(庁舎)	14.8	なし	585	A	20.8	2.31
主筋(庁舎)	15.0	324	588	A	30.1	3.61
主筋(庁舎)	15.0	なし	649	A	19.8	1.62
主筋(庁舎)	17.4	324	355	C	-	1.74
主筋(庁舎)	18.6	250	440	A	27.4	2.28
主筋(庁舎)	17.8	322	502	A	22.7	2.49
主筋(倉庫)	21.2	250	385	B	-	2.18
主筋(倉庫)	23.5	322	463	B	-	2.88
主筋(倉庫)	24.0	325	415	B	-	2.85
主筋(倉庫)	21.8	325	455	A	30.1	2.39
主筋(倉庫)	24.5	325	504	C	-	2.74

ら、塩化物濃度が高い原因は飛来塩分であると考えられる。

(6) タイル接着強度

タイル接着強度の平均値は0.90N/mm²、標準偏差は0.62N/mm²、最大値1.72N/mm²、最小値0.01N/mm²であった。

JASS9タイル工事の管理値0.4N/mm²を下回ったのは8カ所中1カ所であった。破断位置は貼り付けモルタルの凝集破断か張り付けモルタルとタイル界面であった。タイルの裏足は金型足であり、目視の結果、張り付けモルタルは現在のものよりもセメントが少なく強度も小さい状況であった。以上を総合的に判断すると、タイルの接着強度は施工当時と比較して大きな低下が起きているとは考えられない。

4. 補修状況

倉庫外柱の多数に鉄筋腐食補修箇所が存在した。補修に使用していたモルタルは6種類であり、補修材はエチレン酢酸ビニル粉末や高炉ス

ラグ粉末等の混入が見られ、その使用が始まった時期から判断して比較的新しいもの（およそ20年より近年）であった。個々の補修材のメーカーや特徴は把握できなかった。

補修方法は下記の2種類の工法が存在した。

①かぶりコンクリート除去後セメントモルタルのみで成型（写真-9）

②かぶりコンクリート除去，鉛丹錆止め処理後セメントモルタルで成型（写真-10）。モルタルのみの補修箇所は再び鉄筋腐食が生じていた。

鉛丹錆止め処理後モルタル補修している部分の腐食は見られなかった。鉛丹が十分に塗布されていない鉄筋の裏側等には腐食が見られた。

鉄筋防食処理は部分的でなく，補修箇所全面に防錆処理が必要である。補修モルタルの浮きは調査21カ所中11カ所と約半数に見られた。

5. ジャンカ

本物件は，写真-1に示した様に，コンクリート打設時に斜めシュートを用いた為に分離を起こし，殆どの部材でジャンカが生じていた。

写真-11に示す様に，下からセメントペースト層，砂層，砂利層と明確に分離している箇所も見受けられた。これは調査時には鉄筋腐食によるコンクリートの剥落部のみに確認できたが，表面上密実であると思われる箇所も，解体時調査では，殆ど全ての部材がクラムシェルで掴んだだけで粉々になる状況であった。

6. まとめ

調査開始当初，70数年を経過したRC造の調査から耐久性に関する様々なデータが得られる事を予測したが，打設コンクリートの品質が低く，期待した様なデータは収集できなかった。1階床に $1t/m^2$ を越える積載荷重が作用していたが，幸いにも倉庫は平屋であった為，東部分にせん断ひび割れが生じていたが，地震等で大事には至らなかった。今回の調査では劣悪なコンクリートが打設された構造物の将来のあり姿を垣間見ることができた。

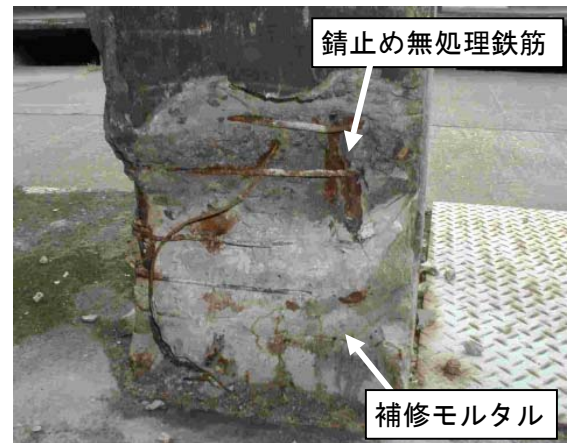


写真-9 モルタルのみの補修



写真-10 鉛丹錆止め補修

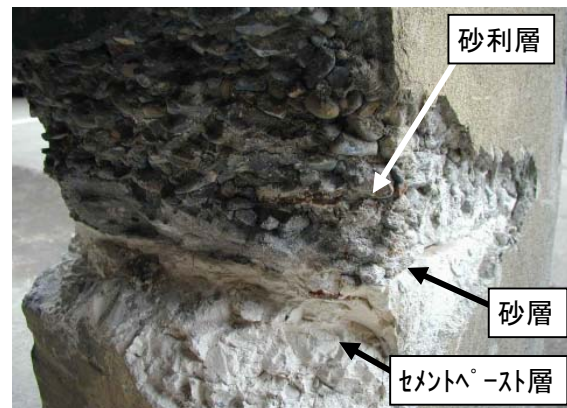


写真-11 柱コンクリート分離状況

謝辞

調査に当たり，写真や貴重な資料を拝見させていただきました，東京食糧事務所深川倉庫の方々に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 農林水産省深川政府倉庫東京食糧事務所：深川政府倉庫のあゆみ，1998
- 2) 内田祥三：鉄筋コンクリートの理論と実際，復興局建築部復興建築叢書，第11号，1924
- 3) 建築工事標準仕様書，日本建築学会，1923
- 4) 第18回コンクリート講習会テキスト（社）セメント技術協会，1960
- 5) 建設写真集：東京食糧事務所