長期使用した既存鉄筋コンクリート構造体の非破壊試験と現場業務への展開

DB14401 栗島千佳

1. はじめに

環境問題が重要視されるようになり、スクラップ＆ビルドでは、建築に伴う資源の浪費や環境負荷が大きくなり、環境への負荷を低減する取り組みとして、建物の維持保全を考えざるを得ない状況となっている。

鉄筋コンクリート造の建物を維持保全するには、経年劣化による建物全体に与える影響の対策、躯体の品質を評価することが必要となる。品質を評価するにあたり、検査・調査目的に合わせた試験データを多量に、簡易に入手できるかが重要である。

試験データを入手するには、実際の建物よりコンクリートコアを採取する破壊試験と、目視・超音波・衝撃弾性波などを利用する非破壊試験がある。破壊試験は、結果の信頼性は高いものの、構造耐力上の問題があり、高価な費用負担につながるため、多数のデータを入手することが難しいとされた。これらの問題は、非破壊試験によれば解決できるが、精度のよさを第一に考えると破壊試験に頼らざるを得ないことも多い。しかし近年の非破壊試験の開発・整備は、これまで破壊試験だけでは把握できなかった品質・性能を高い解像度で提供している。

本研究では、長期使用した既存鉄筋コンクリート構造体の品質・性能の評価を非破壊試験で行い、現場業務への展開が有用であることを研究目的とする。

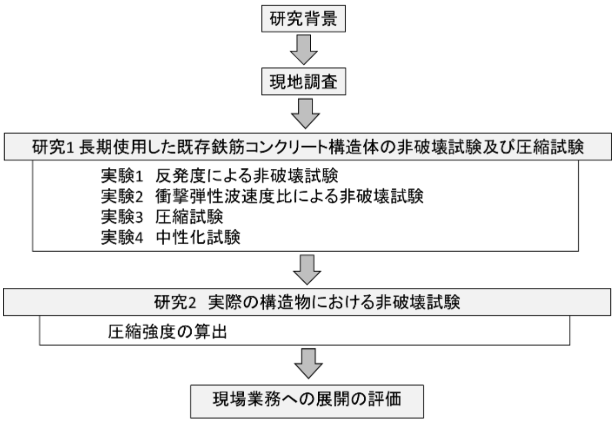


図 1 研究の流れ

図 2 現地調査を行った建物と劣化状況

2. 研究概要

2.1 既存鉄筋コンクリート造の現地調査

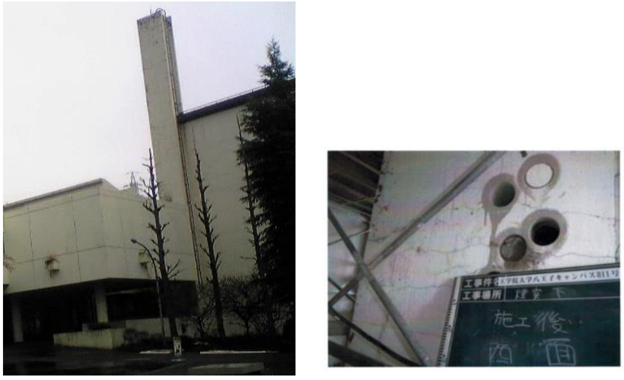
図 2 に現地調査を行った建物と劣化状況を示す。

2.1.1 光輪会館(東京都港区)

都内マンション。主な劣化状況は、外壁のひび割れ、防水層の浮き・破損であった。建物の内部に雨漏りがあり、これらの劣化が関係している。

2.1.2 野崎酒造(東京都あきる野市)

築 80 年の煙突。主な劣化状況は、ひび割れであった。表面にさび汁がないことから内部に鉄筋が存在している可能性は低い。本研究では、野崎酒造の煙突を対象に研究 2 を行う。



a)工学院大学八王子校舎 1 号館の煙突の外観(左)

b)工学院大学八王子校舎 1 号館の煙突のコア抜き(右)

図 3 工学院大学八王子校舎 1 号館の煙突

2.1.3 工学院大学八王子校舎 1 号館

築 53 年の校舎。工学院大学八王子校舎 1 号館の概要を表 1 に示す。本研究では、工学院大学八王子校舎 1 号館煙突コア

を対象に研究 1 を行う。工学院大学八王子校舎 1 号館煙突を図 3 に示す。煙突の西側、南側のコアを 3 本ずつ採取し、試験体として使用する。工学院大学八王子校舎 1 号館煙突コア試験体を図 4 に示し、概要を表 2 に示す。

2.2 長期使用した既存鉄筋コンクリート構造体の非破壊試験及び圧縮試験(研究 1)

研究 1 の実験概要を図 5 に示す。

2.2.1 反発度による非破壊試験(実験 1)

工学院大学八王子校舎 1 号館煙突コア試験体を反発度試験で行う。本研究では、シュミットハンマーを使用し、工学院大学八王子校舎 1 号館煙突コア試験体の上下 2 面のそれぞれ 9 点を測定する。測定した 9 点の平均を反発度 R として求める。シュミットハンマーを図 6 の a)に示す。反発度試験結果を図 7 に示す。その後、反発度 R を式(1)の反発度と圧縮強度の換算式より換算圧縮強度を算出する。反発度と圧縮強度の関係を図 8 に示す。

$y = 1.23x - 12.75$…(1)

ここで、x:反発度、y:換算圧縮強度(N/㎟)

換算圧縮強度を算出した結果を図 9 に示す。反発度試験の結果より,反発度の平均値は 20～30 となった。煙突の内側は煙突の外側より反発度が高い。煙突の内側と煙突の外側では、暴露環境が異なるため結果に影響がでた。また、標準偏差を検討するとばらつきが大きい。非破壊試験では、骨材などの影響を受けやすいためばらつきが大きくなった。換算圧縮強度では、15～30N/㎟となった。設計基準強度 17.6N/㎟と比較すると、大きな差がないため換算式の精度は高い。また、工学院大学八王子校舎 1 号館煙突コア試験体は築 53 年を経ても圧縮強度は低下していない。

2.2.2 衝撃弾性波速度比による非破壊試験(実験 2)

本研究では、バンビーノを使用し反発度試験と同様に測定する。バンビーノを図 6 の b)に示す。衝撃弾性波速度比試験結果を図 10 に示す。

衝撃弾性波速度比の結果より、1000 を最大値に約 500 の結果となった。反発度試験結果の標準偏差と衝撃弾性波速度比試験結果の標準偏差を比較すると、衝撃弾性波速度比試験の標準偏差の値が大きく、ばらつきが大きい。反発度試験と衝撃弾性波速度比試験の結果を基に、反発度による換算式との係数 22.3 を導き出し、式(2)の推定換算圧縮強度式を導き出す。反発度と衝撃弾性波速度比の関係を図 11 に示す。

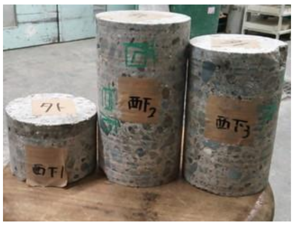
$y = 0.056x - 12.75$…(2)

ここで、x:衝撃弾性波速度比、y:推定換算圧縮強度(N/㎟)

表 1 工学院大学八王子校舎 1 号館の概要

建築物名称	工学院大学八王子校舎1号館
所在地	東京都八王子市中野町2665-1
用途	学校施設
竣工	昭和38年(1963年)
構造形式	鉄筋コンクリート造ラーメン構造
階数	地下1階、地上4階
規模	延べ床面積:5040㎡、建築面積:1008㎡
設計基準強度	180kgf/㎤ (17.6N/㎟)

a)試験体(西)



b)試験体(南)

図 4 工学院大学八王子校舎 1 号館煙突コア試験体

表 2 工学院大学八王子校舎 1 号館煙突コア試験体概要

	高さ(mm)	直径(mm)	断面(㎟)	重さ(g)	密度(g/㎤)
西下1	75.02	103.63	10738.14	1440.80	2.28
西下2	184.44	103.52	10703.97	3582.80	2.31
西下3	159.71	103.54	10713.29	3079.10	2.29
南上1	122.58	103.48	10708.11	2360.60	2.29
南上2	115.70	103.49	10710.18	2279.90	2.34
南上3	123.87	103.43	10696.73	2495.30	2.40

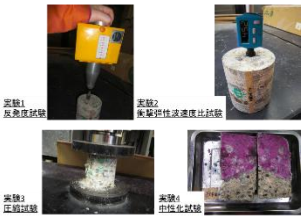


図 5 実験概要

a)シュミットハンマー

b)バンビーノ

図 6 使用する試験器

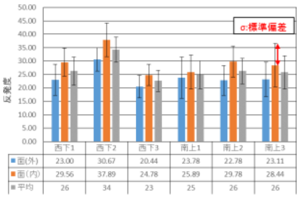


図 7 反発度試験結果

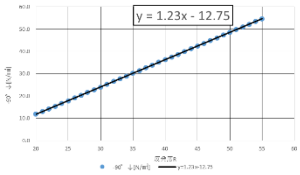


図 8 反発度と圧縮強度の関係

2.2.3 圧縮試験と非破壊試験の比較(実験 3)

工学院大学八王子校舎 1 号館煙突コア試験体を圧縮試験機で圧縮し実際に圧縮強度を出す。工学院大学八王子校舎 1 号館煙突コア圧縮試験結果、同じく非破壊試験結果を図 12 に示す。実強度に対する値を反発度と衝撃弾性波速度比で求めた。

実際の圧縮強度と換算圧縮強度を比較すると大きな差があった。非破壊試験では骨材などの影響を受けやすいため、圧縮強度と換算圧縮強度では大きな差が出た。

2.2.4 中性化試験（実験 4）

西下 2 と南上 2 の工学院大学八王子校舎 1 号館煙突コア試験体より中性化試験を行った。中性化試験の結果を図 13、表 3 に示す。築 53 年の中性化深さを式(3)の岸谷式で算出する。中性化試験した試験体を岸谷式で算出した数値と比較する。

$x = As\sqrt{t}$…(3)

ここで、x:中性化深さ(㎜)、t:経年、s:中性化抑制効果(仕上げなし)=1.0、A:k*α1*α2*α3*β1*β2*β3

k=1.72、α1:コンクリートの種類による係数（普通コンクリート）=1.0、α2:セメントの種類による係数(普通ポルトランドセメント)=1.0、α3:水セメント比による係数(60%)=0.385、β1:平均気温による係数(東京 15.9℃)=1.0、β2:平均湿度による係数(東京 63%)=1.0、β3:炭酸ガス濃度による係数(屋外 0.05%)=1.0

岸谷式による中性化深さは築 53 年の場合、4.8 ㎜となった。工学院大学八王子校舎 1 号館煙突コア試験体の中性化深さは、68.9 ㎜であったため大幅に進行している。また、工学院大学八王子校舎 1 号館煙突コア試験体の中性化深さより岸谷式で経年を算出すると、10850 年と推測できた。築 53 年の工学院大学八王子校舎 1 号館煙突コア試験体は通常の中性化より 200 倍の速さで進行していることになる。煙突の内部は、屋外よりも二酸化炭素濃度が高く、平均気温よりも高いため、中性化を促進させていた。また、中性化が進行していた部分の試験体が変色していた。これも、煙突の内部の環境が影響している。

3. 実際の構造物における非破壊試験（研究 2）

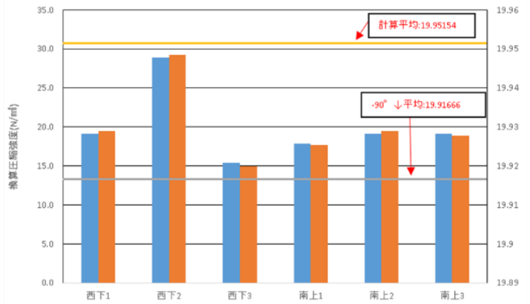
現地調査を行った野崎酒造にある煙突を対象とする。この煙突は、1920 年代に建てられ保存対象建築物である。現地調査を行った際に、衝撃弾性波速度比による非破壊試験を実施した。その結果を基に式(2)より圧縮強度を推定した。

3.1 衝撃弾性波比による非破壊試験

煙突を土台部分、バンド上部、上から 1.4m 地点、上から 6m 地点の非破壊試験を行った。非破壊試験した位置を図 15 に示す。それらの非破壊試験の結果を図 14 に示す。工学院大学八王子校舎 1 号館煙突コアよりも値が小さく、1000 を最大値に 300～500 となった。ひび割れの影響を受けているため、ばらつきも大きくなった。標準偏差より、特に土台部分のばらつきが大きい。工学院大学八王子校舎 1 号館と同様煙突であるが、経年劣化による影響も大きい。

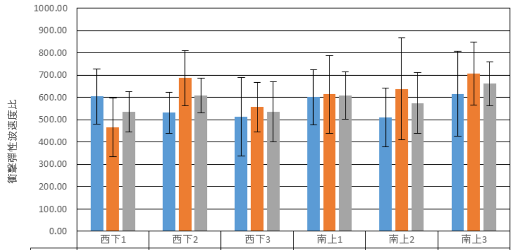
3.2 推定換算圧縮強度の算出

式(2)より算出した推定換算圧縮強度を図 15 に示す。ひび割れによるばらつきの影響により推定換算圧縮強度は 4～10 N/㎟と差が大きくなった。平均推定換算圧縮強度は 7.49N/㎟



	西下1	西下2	西下3	南上1	南上2	南上3
-90° ↓[N/㎟]	19.1	28.9	15.4	17.9	19.1	19.1
y=1.23x-12.75 [N/㎟]	19.46	29.27	14.97	17.69	19.46	18.85

図 9 換算圧縮強度算出結果



	西下1	西下2	西下3	南上1	南上2	南上3
面(外)	603.89	531.56	513.78	600.89	510.56	615.78
面(内)	465.67	686.78	557.11	613.89	638.33	707.56
平均	535	609	535	607	574	662

図 10 衝撃弾性波速度比試験結果

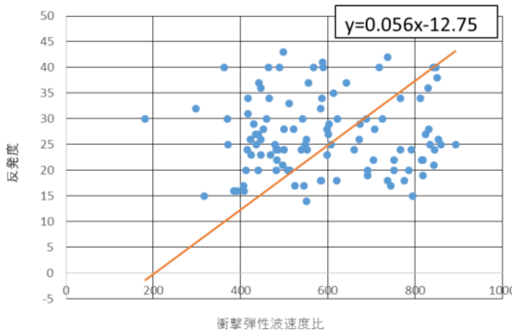
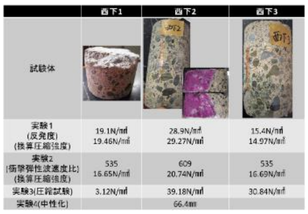
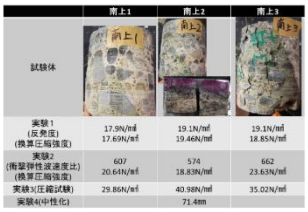


図 11 反発度と衝撃弾性波速度比の関係



	西下1	西下2	西下3
試験体			
実験1 (反発度) (換算圧縮強度)	19.1N/㎟ 19.46N/㎟	28.9N/㎟ 29.27N/㎟	15.4N/㎟ 14.97N/㎟
実験2 (衝撃弾性波速度比) (換算圧縮強度)	535 16.65N/㎟	609 20.74N/㎟	535 16.69N/㎟
実験3(圧縮試験)	3.12N/㎟	39.18N/㎟	30.84N/㎟
実験4(中性化)		66.4㎜	

a）実験結果（西）



	南上1	南上2	南上3
試験体			
実験1 (反発度) (換算圧縮強度)	17.9N/㎟ 17.69N/㎟	19.1N/㎟ 19.46N/㎟	19.1N/㎟ 18.85N/㎟
実験2 (衝撃弾性波速度比) (換算圧縮強度)	607 20.64N/㎟	574 18.83N/㎟	662 23.63N/㎟
実験3(圧縮試験)	29.86N/㎟	40.98N/㎟	35.02N/㎟
実験4(中性化)		71.4㎜	

b）実験結果（南）

図 12 工学院大学八王子校舎 1 号館煙突コア試験体の実験結果

となった。これより、建築基準法施行令第74条鉄筋コンクリート造に使用するコンクリート圧縮強度12N/㎟に満たしていない。そのため、保存するにあたり補修、補強などの対策が必要とされる。

4.まとめ

1)既存コンクリート造の現地調査については、3 件の調査より、鉄筋コンクリートの劣化はひび割れを中心にひどくなっていた。

2)工学院大学八王子校舎 1 号館煙突コアについては、反発度より圧縮強度を推定した結果、平均 19.95N/㎟であった。反発度と衝撃弾性波速度比より、推定換算圧縮強度を求める式 y=0.056x-12.75 を導いた。試験体の中性化深さは 68.92 ㎜になった。この結果を岸谷式の算出式より 10850 年に相当した。これは、通常の築 53 年の中性化深さよりも 200 倍進行していた。

3)実際の構造物における推定換算圧縮強度については、保存対象建築物であるため、衝撃弾性波速度比により推定換算圧縮強度を求める式 y=0.056x-12.75 から圧縮強度を推定できた。平均推定換算圧縮強度は 7.49N/㎟であった。これは建築基準法施行令第 74 条鉄筋コンクリート造に使用するコンクリート圧縮強度 12N/㎟に満たしていない。この保存対象建築物は、補修、補強などの対策が必要である。工学院大学八王子校舎 1 号館と同様、煙突であるため中性化の進行を示唆している。

4)総括として、実強度に対する値と非破壊試験による換算圧縮度では大きな差が出た。反発度と衝撃弾性波速度比による非破壊試験では、コンクリートの骨材、セメントなどの部分により結果の影響が及びやすい。この影響を回避するためには、コンクリートの骨材、セメントなどの部分ごとに検討し、非破壊試験による推定換算圧縮強度式の精度を向上させなければならない。非破壊試験による推定換算圧縮強度式の精度の向上は現場業務への展開につながる。

参考文献

1)NDIS 2426-2 コンクリートの非破壊試験-弾性波比-第 2 部:衝撃弾性波法、一般社団法人 日本非破壊検査協会、2014 年

2)監修:湯浅昇、月間建築技術、特集:第三者が検証可能な RC 構造体の品質・性能評価方法、2008 年 8 月

3)JIS ハンドブック、建築Ⅱ、試験・設備、JIS A 1155、JIS A 1152、2005 年

4)建築基準法施行令第 74 条

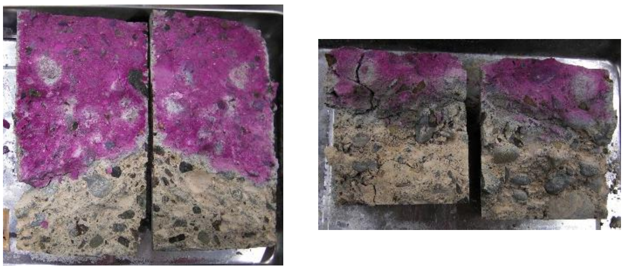
表 3 中性化試験結果

a)実験結果

	中性化深さ(㎜)
西下2	66.42
南上2	71.42
平均	68.92

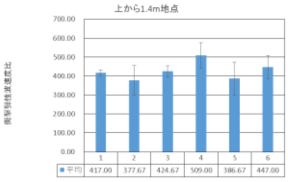
b)推定と実験結果の比較

	経年(年)	中性化深さ(㎜)
工学院大学八王子校舎1号館(岸谷式による推定)	53	4.82
工学院大学八王子校舎1号館煙突コア(実験結果)	10850	68.92

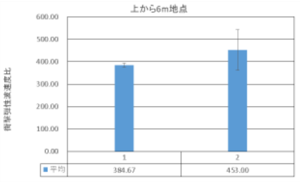


a)試験結果(西)　b)試験結果(南)

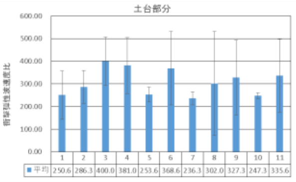
図 13 中性化試験結果



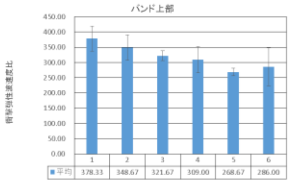
a)上から 1.4m 地点



b)上から 6m 地点



c)土台部分



d)バンド上部

図 14 非破壊試験結果

図 15 試験位置と推定換算圧縮強度算出結果

謝辞

本研究にあたり、指導教官である田村雅紀先生に多くのご指導をいただきました。また、工学院大学八王子施設課各位、三和工務店山田様、野崎酒造様、アナイス平井様にご支援いただきました。皆様に多大なる感謝の意を表し、謝辞とさせていただきます。