都市の長期供用建物から多点採取した小径コアによる外部環境の品質影響評価

材料施工，長期供用建物，外部影響
微破壊試験，非破壊試験、小径コア

保田直哉*1
田村雅紀*2

1. はじめに

高度経済成長期に建設された多くの建築物が寿命を迎え始めている。現在、公共工事の多くはスクラップ&ビルドの工事から、ストック&メンテナンス[1)2)]（補修・改修）の工事へと移行傾向にある。それに伴い、建築物の診断の件数も増加しており、対象建築物を使用しながら試験を行うことが求められる。しかし、大きな機械の搬入・使用、音や振動の問題も多くある。また、人間の目視による診断は細かな評価項目を設けていても、試験者の経験、知識によって結果が変わることが考えられる。そこで、今後期待されている周囲への影響を抑え、機械的に評価ができる微破壊試験・非破壊試験[3)4)]を用いて既存建築物を対象に各実験を行った。さらに、建築物の劣化は経年のみではないと考えられる。使用状態や環境状態において、劣化の進行が早まる可能性もある。既存建築物がどのような状態であるかを調査し、知ることで、各面において効率的な工事ができると考えられる。ISO 21930 の改正予定の中では、建築製品の使用環境別に材の耐用年数を仮定することも含まれていることからも推測される。

図 1 に研究の全体図を示す。本研究では研究 1 において微破壊試験で得た結果と環境因子による影響の関係、研究 2 において研究 1 で得た結果と非破壊試験の結果の関係を評価した。（図 1）

2. 研究概要

2.1 小径コアによる圧縮強度の測定（研究 1）

2.1.1 実験概要

表 1 に実験の項目と方法，研究の流れ、表 2 に実験の要因と水準、表 3 に研究対象建築物の概要と環境因子を示す。Step.1 は 2 階のみとし、衝撃衝撃波法により機械インピーダンスを測定する。コアの採取は各階層、東西南北の壁、各面の両端部と中央部の 3 箇所と 1 階柱を 9 箇所とし、全 51 箇所で行った。1 箇所あたり約 6 本以上を目安にし、計 360 本採取した。Step.4 では圧縮試験と同時にひずみの測定も行った。

対象建築物は 1996 年に圧縮強度、中性化深さ、不同沈下の診断調査が行われた。その結果も示す。

また、コアを採取した箇所の外部環境因子による影響の可能性を検討する。内部環境は竣工時に受ける影響、外部環境は経年で受ける影響とする。

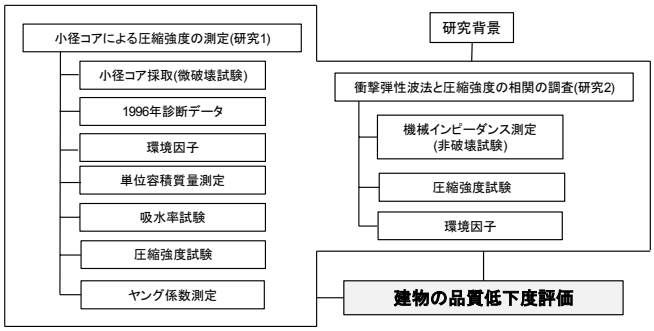
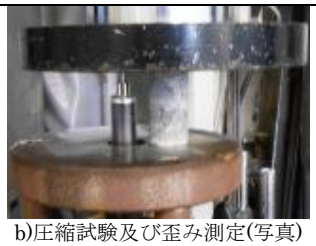


図 1　研究の全体図

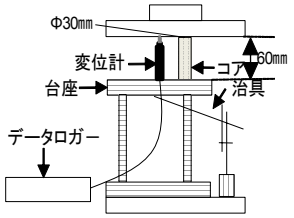
表 1　実験項目と方法

	実験項目	方法
研究 1	小径コア採取方法	JIS A 1107
	小径コア単位容積質量	JIS A 1109
	小径コア吸水率	JIS A 1109
	小径コア圧縮強度	JIS A 1107 参照
	ヤング係数	JIS A 1149 参照
研究 2	機械インピーダンス試験	JIS A 1155 参照 衝撃弾性波法
	圧縮強度	JIS A1107

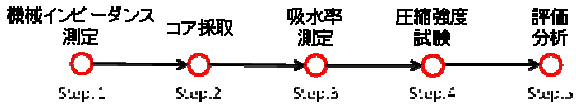
a)小径コア採取状況


b)圧縮試験及び歪み測定(写真)

c)小径コア



d)圧縮試験及び歪み測定(図)



e)研究の流れ

表 2　実験の要因と水準

	要因	水準
研究 1	小径コア寸法(試験体寸法)	φ30 ㎜(φ30 ㎜×60 ㎜)
	養生条件	水中、48 時間
	階数条件	1 階、2 階、3 階、4 階
	方位条件	東西南北
	環境影響の分類条件	環境因子による
研究 2	対象箇所	2 階、東西南北、中央・両端

*1 工学院大学大学工学部建築学科 4 年　　*2 工学院大学建築学部建築学科 准教授 博士（工学）

2.1.2 小径コアの基本物性

図 2 に単位容積質量、図 3 に吸水率を示す。コア採取直後に、質量と体積（水を張ったシリンダーにコアを入れ、目盛の増加分）を測定し、水中養生（20±2 度）を 48 時間行い、再度質量を測定した。式は 1)2)による。

$$単位容積質量(kg/L) = \frac{m1}{V} \quad —1)$$

$$吸水率(\%) = \frac{m2-m1}{m1} \quad —2)$$

ここに、m1:水中養生前質量(kg)、m2:水中養生後質量(kg)、V:体積(L)

単位容積質量は全体平均が 2.29kg/L であり、各階数・方位ともばらつきが小さく、ともに標準偏差も小さかった。また吸水率は全体平均が 2.41%であり、同様に各階数・方位ともばらつきが小さく、ともに標準偏差も小さかった。単位容積質量と吸水率に相関はなかったが、両結果から 50 年前と現在のコンクリートはほぼ同じと考えられる。

2.1.3 小径コアの圧縮強度

採取したコアを湿式コンクリートカッターで直径の 2 倍高さに切断し端面を手研磨で整え、試験体を作製した。本研究から得た結果は本来の数値よりも小さく出たことが推測されたため、過去診断調査と同箇所より採取したものと比較し、補正係数を定めた。補正式は式 3)による。過去診断のコアは階段室から採取された。

$$Fc_2(N/mm^2) = Fc_1 \times 1.64 \quad —3)$$

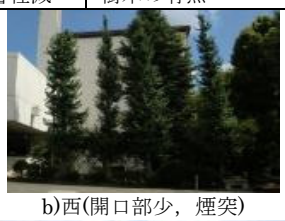
ここに、
Fc_1:本研究の圧縮強度
Fc_2:補正後の圧縮強度
補正係数：過去診断平均(Fc:25.0)／本研究平均(Fc:15.2)= 1.64

図 4 に階数別圧縮強度、図 5 に方位別圧縮強度を示す。1 階が最も小さく、4 階から 2 階へ徐々に小さくなった。方位別ではほぼ差は見られなかった。過去診断は 1 階から 4 階へ徐々に小さくなっており、本研究とは異なった。ゆえに、試験体の採取箇所により結果が変わってしまうことが分かる。しかし、建築物を運用しながらのコアの採取では場所が限られてしまうことが考えられるため、問題となることが考えられる。

表 3 研究対象建築物の概要と環境因子

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	延床面積:5040 ㎡、建築面積:1008 ㎡		
設計基準強度	180kgf/cm² (17.6N/mm²)		
1996 年調査	採取コア本数：15 本(B1～4F) 平均圧縮強度：255.4kgf/cm²(σ=64.2) 平均中性化深さ　打放：32～36 ㎜ ペンキ・モルタル仕上げ：0～21 ㎜		
対象建築物の環境因子			
	項目	影響	分類
内部環境	建築部位別	施工	柱、壁、工区等
外部環境	Water Effect	雨影響	雨除け(庇等)の有無
	Thermal Effect	日射影響	温度、日射
	樹木	影響軽減	樹木の有無

a)東(開口部少，樹木)

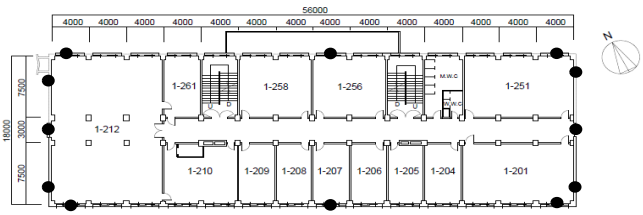

b)西(開口部少，煙突)

c)南(日射影響，樹木)

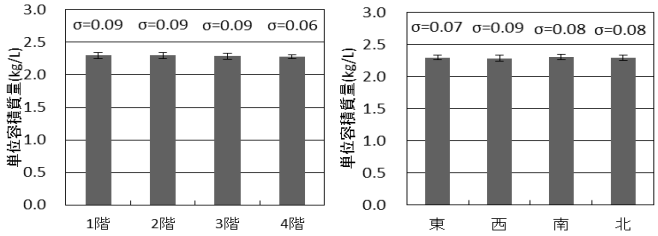
d)北(開口部多)

e)北庇(雨影響)

d)南庇(雨影響)

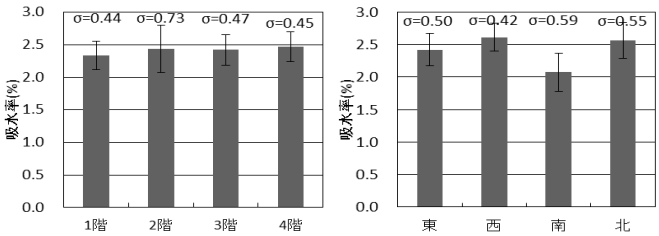


e)2 階平面図(●：採取箇所)



a)階数別　b)方位別

図 2 階数・方位別の単位容積質量

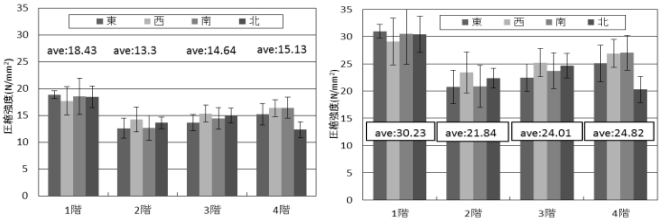


a)階数別　b)方位別

図 3 階数・方位別の吸水率

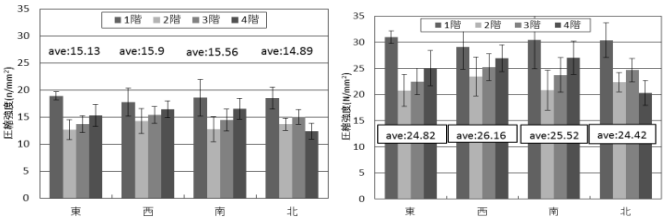
2.1.4 小径コアのヤング係数

図 6 に階数別・方位別のヤング係数、図 7 に RC 構造計算規準式[5]とヤング係数分布(全コア)、図 8 に RC 構造計算規準式とヤング係数分布(各階数・方位)、図 9 にヤング係数分布の相関係数を示す。ヤング係数は全体的に高い数値が出た。12000 を越えるものもあった。3 階が若干高くなった。RC 構造基準式に合わせたものは圧縮強度の補正前では上に分布していたが補正後はほぼ上下に分布するようになった。R-2 乗式より 3 階、4 階が低いのは 1 階、2 階と比較し暴露面が多く、南北が低いのは構造的に長手であるためと考えられる。対象建築物の施工当時のコンクリート打設技術から１フロア３工区程度であったと仮定すると長手方向にばらつきが大きくなることが考えられる。



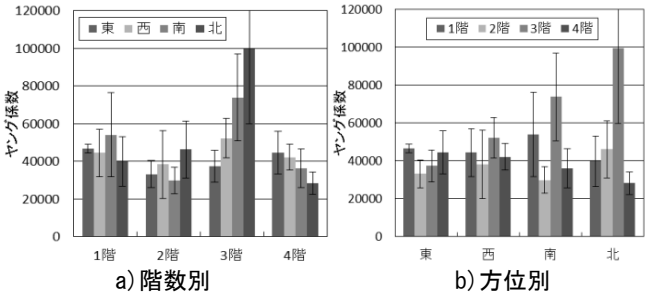
a) 補正前　　b) 補正後

図 4　階数別の圧縮強度(4 方位)



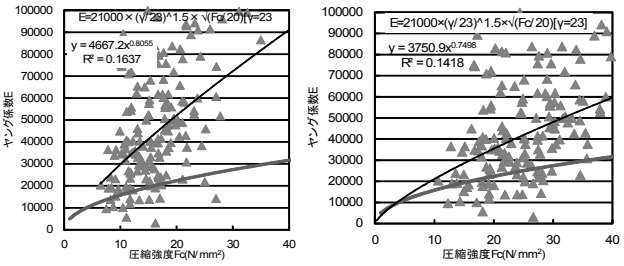
a) 補正前　　b) 補正後

図 5　方位別の圧縮強度(4 階数)



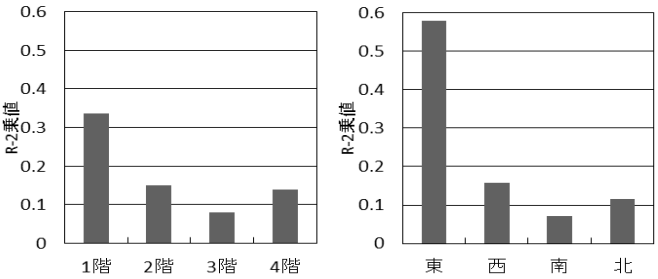
a) 階数別　　b) 方位別

図 6　階数・方位別のヤング係数



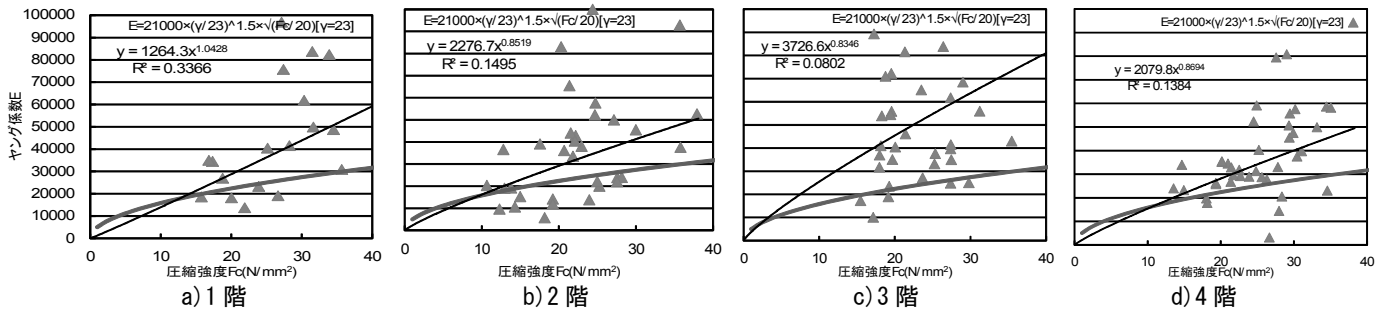
a) 圧縮強度補正前　　b) 圧縮強度補正後

図 7　RC 構造計算規準式とヤング係数分布(全コア)

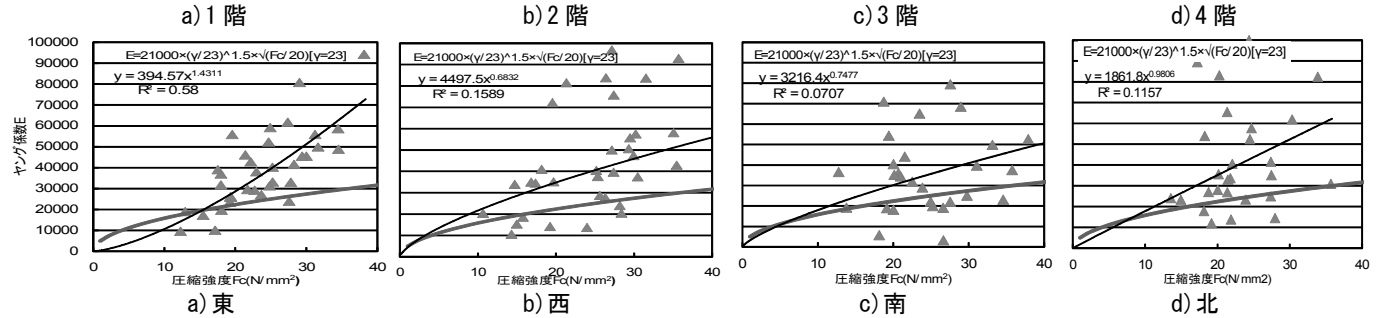


a) 階数別　　b) 方位別

図 9　階数・方位別のヤング係数分布の相関係数



a) 1 階　　b) 2 階　　c) 3 階　　d) 4 階



a) 東　　b) 西　　c) 南　　d) 北

図 8　各階数・方位の RC 構造計算規準式とヤング係数分布(各階数・方位)

2.1.5 環境因子による影響

表 4 に方位別の環境因子、図 10 に環境因子別の圧縮強度を示す。圧縮強度の結果から外部環境因子による大きな影響はないと考えられる。内部環境因子における部材別の圧縮強度では柱の方が高くなった。壁は開口部付のものも含むため柱と比べ、充填が甘くなることが考えられる。庇有無では庇有の方が高かったことから、外部環境の影響がコンクリートに与える影響もあると考えられる。また、中性化深さでは影響があると考える。本研究では外部足場等が設置できず行えなかったが、内部から採取したコアの中性化深さはモルタル層で止まっていた。

2.2 衝撃弾性波法と圧縮強度の相関（研究 2）

2.2.1 実験概要

2 階の東西南北、各方位 3 箇所の全 12 箇所を対象に衝撃弾性波法で機械インピーダンス(以下、HLD)を測定し圧縮強度と相関[6)7)]をみた。方法は JIS A 1155 を参考にした。HLD 式は式 4)による。

$$\text{機械インピーダンス(HLD)} = \frac{V}{V_0} \times 1000 \quad \text{—4)}$$

ここに、インパクトボディーの反発速度:V
インパクトボディーの打撃速度:V_0

2.2.2 機械インピーダンスと圧縮強度

図 11 に HLD と物性数値を示す。HLD と単位容積質量は相関が見られる。HLD が高い箇所は圧縮強度も高い傾向がある。ゆえに、お互いに相関関係があると考えられる。しかし、ばらつきが多いため HLD のみでの圧縮強度の推定は現段階では不十分であると考えられる。

3. まとめ

本研究より以下の知見が得られた。

1)築 50 年の RC 造の長期供用建物を評価するために、1996 年の耐震診断では 12 本採取で評価をしたが、今回は小径コアで多点の 360 本により、建物の品質状態を分析した。

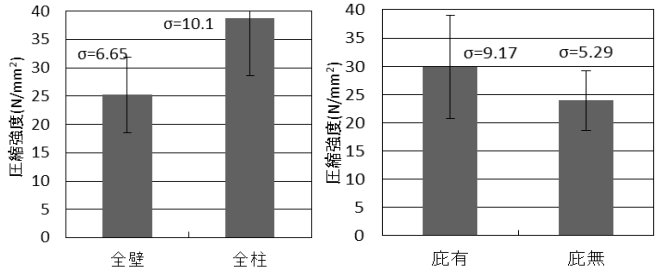
2)小径コア(φ30 ㎜)でも圧縮強度評価は可能であるが補正定数が必要となるため、元データ（直径が粗骨材の最大寸法の 3 倍以上のもの）を得る必要がある。

3)小径コアの圧縮強度は多点採取により施工品質や方位、階数、庇有無による外部環境の品質影響の評価ができ、環境因子の影響をとらえるには複数のデータが必要である。

4)機械インピーダンス法を例とした非破壊試験により圧縮強度の相関が見られたが、ばらつきが大きく、外部環境因子の影響を含めた評価には微破壊試験と比べ、更なるデータの蓄積が必要である。

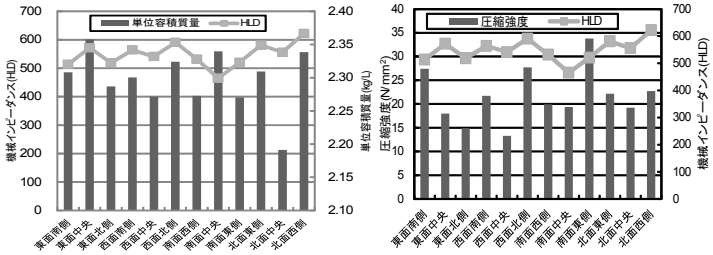
表 4 方位別の環境因子

方位	内部環境	外部環境
東面	開口部少	庇無，樹木
西面	開口部少	庇無，樹木
南面	開口部多、1 階柱多	日射強，庇一部有，樹木
北面	開口部多、1 階柱多	日射弱，庇一部有



a) 部材別の圧縮強度　　b) 庇有無の圧縮強度

図 10 環境因子別の圧縮強度



a) HLD と単位容積質量　　b) HLD と圧縮強度

図 11 HLD と物性数値

参考文献

1) 鉄筋コンクリート造建築物の耐久性調査・診断および補修指針(案)・同解説 1997.1
2) 日本建築学会:鉄筋コンクリート造建築物の品質管理および維持管理のための試験方法 2007.3
3) 日本コンクリート工学会:微破壊試験を活用したコンクリート構造物の健全性診断手法調査委員会 報告書 2012.6
4) 建築技術:第三者が検証可能な RC 構造体の品質・性能評価方法, pp92-177 2008.8
5) 日本建築学会:鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説, 1991.4
6) 久保元樹，久保元他：コンクリート強度の推定―インピーダンス法とリバウンド法―土木学会第 66 回年次学術講演会，2009．9
7) 岩野聡史:衝撃弾性波法によるコンクリート強度評価の現状と課題, JSNDI 平成 20 年度春期大会講演会梗概集, (社)日本非破壊検査協会，2008 年 8 月

謝辞

本研究の実施にあたり，工学院大学施設課担当各位，日本ヒルティ各位より多くの助力を賜り感謝致します。なお本研究の一部は，工学院大学 UDM 研究，H25 年度科研費(若手 A:23680681 田村雅紀)による。