

論文 ウインザーピン法によるモルタルの強度推定に関する基礎的研究

宮部 喬司^{*1}・谷川 恭雄^{*2}・森 博嗣^{*3}・黒川 善幸^{*4}

要旨：レンガ造建築物の目地モルタルの強度推定には，目地幅や研磨の問題などから適用できる非破壊検査法に限られる。本研究では，ウインザーピン法を用いたレンガ造建築物の目地モルタルの強度推定を目的として，水セメント比，材齢および養生方法を実験要因とするモルタル供試体を用いて実験を行った。その結果，ウインザーピン貫入抵抗値によるモルタルの圧縮強度推定式が得られ，また，各実験要因がウインザーピン貫入抵抗値に与える影響を明らかにした。さらに，ウインザーピン法と各種非破壊検査法との組合せによる強度推定式を求めた。

キーワード：非破壊検査法，ウインザーピン法，モルタル，強度推定，材齢，養生方法

1. はじめに

レンガ造建築物において，反発度法および超音波速度法は，レンガの強度特性の把握に有用である¹⁾が，材料表面の研磨が必要であることや，超音波速度法ではグリースによる汚れが付着するなどの問題点がある。特に目地モルタルにおいては，目地幅の狭さから表面の研磨は困難であり，また，反発度法を用いて検査を行う際は，目地を正確に打撃できない場合が多い²⁾。そのため，ウインザーピン法の適用が考えられる。

図 - 1 に，ウインザーピン装置を示す。ウインザーピン法は，長さ30.5mm，直径3.56mmのピンをばねの反発力によって材料に貫入させ，その貫入深さから圧縮強度を推定する手法である。図 - 2 に，目地モルタルにウインザーピン法を適用した後の貫入跡を示す。わずかな破壊を伴うものの，目地モルタルに正確に貫入することができ，材料表面の研磨を必要としないことから，要求精度を満足すれば，目地モルタルの強度推定に適する手法といえる。

そこで本研究では，ウインザーピン法により目地モルタルの強度を推定するための基礎実験として，水セメント比を変化させたモルタル供

試体を作製し，ウインザーピン法による強度推定を目的とした実験を行った。

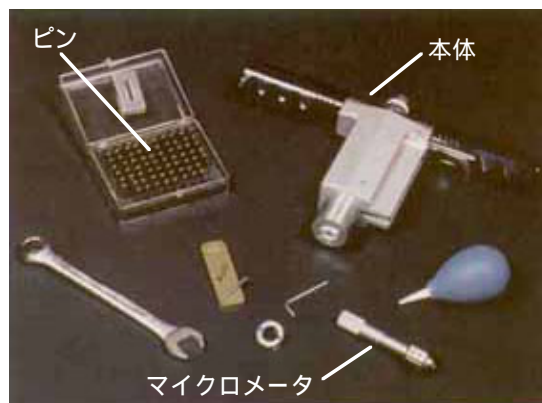


図-1 ウインザーピン装置



図-2 目地モルタルのウインザーピン貫入跡

*1 名古屋大学大学院 環境学研究科都市環境学専攻大学院生 (正会員)

*2 名城大学 理工学部建築学科教授 工博 (正会員)

*3 名古屋大学大学院 環境学研究科都市環境学専攻助教授 工博 (正会員)

*4 名古屋大学大学院 環境学研究科都市環境学専攻助手 工修 (正会員)

2. 実験の概要

2.1 供試体の作製

150 × 140 × 250mmのモルタル供試体を作製した。歴史的レンガ造建築物の目地モルタルの強度推定を目的としているため、水セメント比は通常範囲より大き目の50, 60, 70, 80, 90%の5水準とした。なお、ウインザーピン貫入抵抗値に影響を与えると考えられる細骨材体積率は、今回の実験では0.78の一定とした。

養生方法は水中養生と気中養生の2通り、材齢は7日と28日の2水準とし、同一条件について3体ずつ、合計60体の供試体を用意した。

2.2 測定項目と測定方法

実験では、ウインザーピン貫入抵抗値 R_w 、圧縮強度 F_c のほか、反発度 R_0 、超音波伝播速度 V_l を測定した。

(1) ウインザーピン貫入抵抗値

ウインザーピン法では、貫入深さを専用のマイクロメータで測定し、その読み値をウインザーピン貫入抵抗値と呼ぶ。ウインザーピン貫入抵抗値は、貫入深さが浅いほど大きくなる。

ウインザーピン貫入抵抗値は、打込み上面・側面・底面について各5点測定した。さらに、各面の5点の測定値について、その平均値の±10%の範囲外にあるものを棄却して平均し、同一条件の供試体3体の平均値をウインザーピン貫入抵抗値 R_w とした。なお、測定時には供試

体拘束のため、万能試験機により約0.8MPaの圧定力を載荷した。

(2) 反発度

テストハンマーを用いて、打込み側面、底面について各5点の反発度を測定した。さらに、各面の測定値の平均値の±20%の範囲外にある測定値を棄却して平均し、同一条件の供試体3体の平均値を反発度 R_0 とした。供試体拘束のための圧定力は約0.8MPaとした。

(3) 超音波伝播速度

超音波伝播速度測定装置を使用して、供試体長手方向の超音波伝播時間を各供試体について3点ずつ測定し、その平均値を同一条件の供試体3体について平均し、超音波伝播速度 V_l (km/s)を求めた。

(4) 圧縮強度

ウインザーピン法、反発度法および超音波速度法による測定を行った後の供試体を用いて圧縮試験を行い、同一条件の供試体3体による平均値を圧縮強度 F_c (MPa)とした。

3. 実験結果

3.1 圧縮強度とウインザーピン貫入抵抗値の関係

モルタルの圧縮強度 F_c とウインザーピン貫入抵抗値 R_w の関係を図-3に示す。ウインザーピン貫入抵抗値 R_w のばらつきは大きいものの、

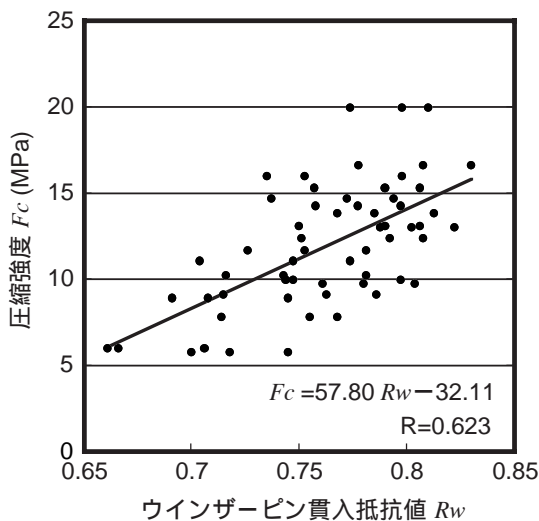


図-3 モルタルの圧縮強度 F_c とウインザーピン貫入抵抗値 R_w の関係

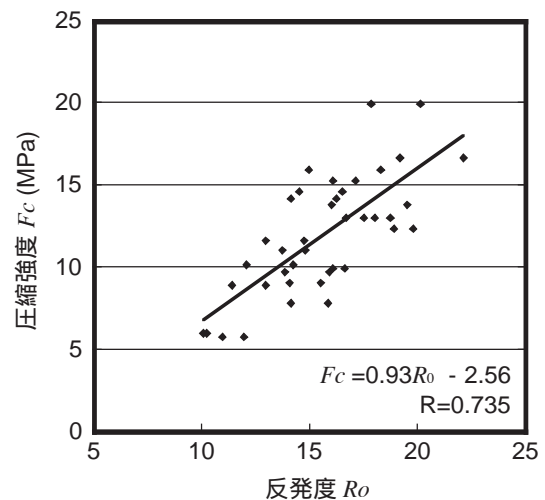


図-4 モルタルの圧縮強度 F_c と反発度 R_0 の関係

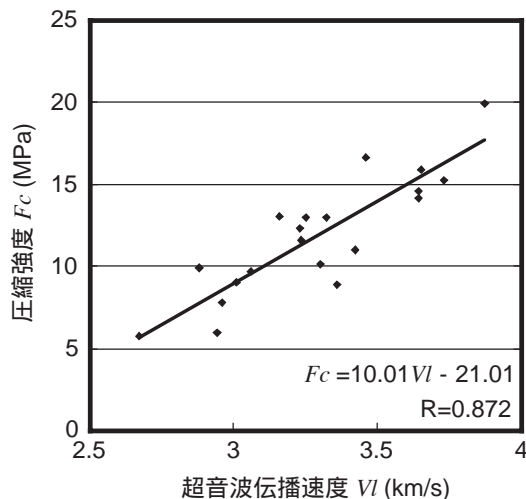


図-5 モルタルの圧縮強度 F_c と超音波伝播速度 V の関係

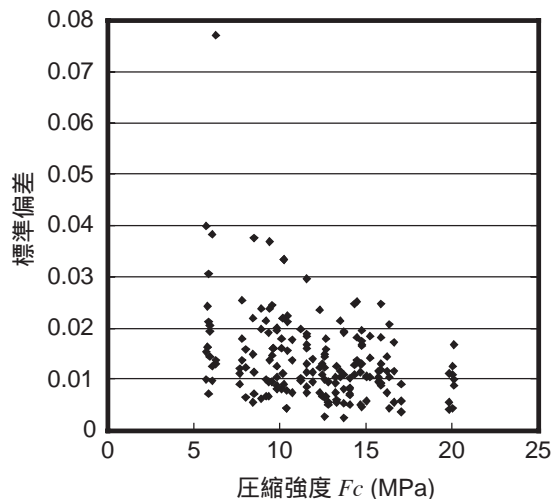
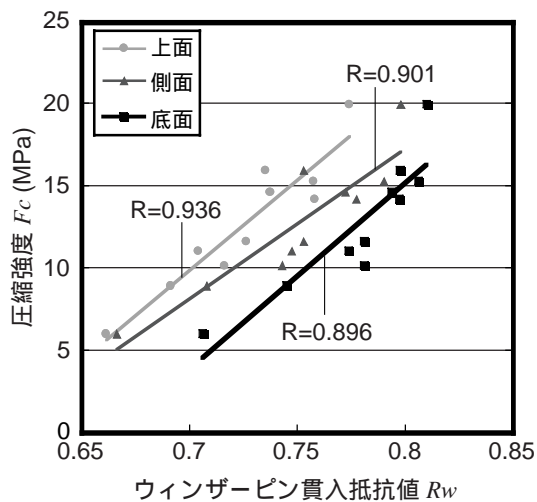
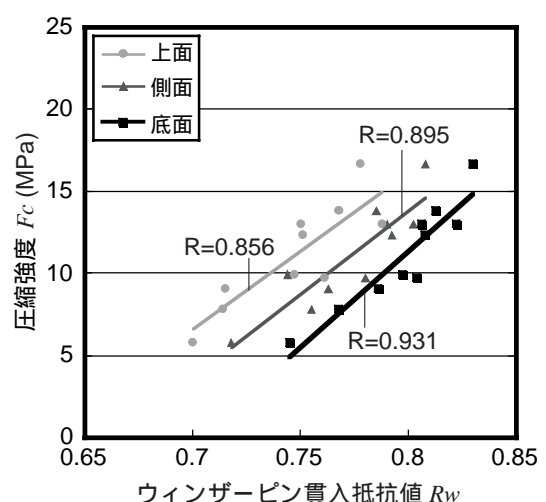


図-6 ウィンザーピン貫入抵抗値の標準偏差と圧縮強度 F_c の関係



(i) 水中養生時



(ii) 気中養生時

図-7 モルタルの圧縮強度 F_c とウィンザーピン貫入抵抗値 R_w の関係 (測定面別)

相関は明確である。

比較のため、圧縮強度 F_c と反発度 R_o の関係を図-4に、圧縮強度 F_c と超音波伝播速度 V の関係を図-5に示す。ウィンザーピン法では、反発度法および超音波速度法と比較して相関係数は若干劣るものの、目地モルタルの強度推定を行う場合、前述したように反発度法や超音波速度法では研磨や目地幅の問題があることから、ウィンザーピン法は有用であると判断できる。

3.2 ウィンザーピン貫入抵抗値のばらつき

各供試体におけるウィンザーピン貫入抵抗値 R_w の標準偏差と圧縮強度 F_c の関係を図-6に示す。圧縮強度 F_c が20MPa以下の範囲において、ウィンザーピン貫入抵抗値 R_w は、圧縮強

度 F_c が小さい場合ほどばらつく傾向にある。

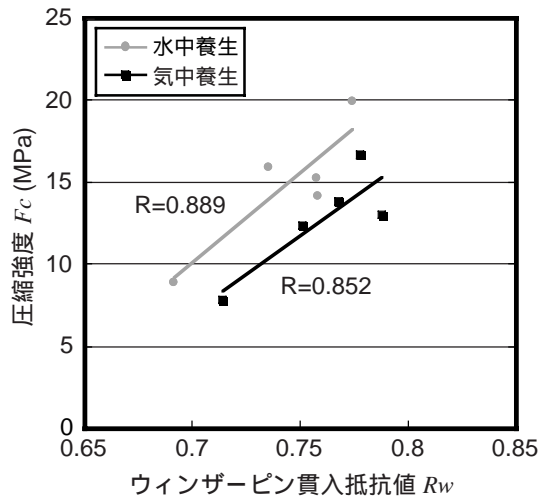
3.3 ウィンザーピン貫入抵抗値に影響を与える要因

(1) 測定面の影響

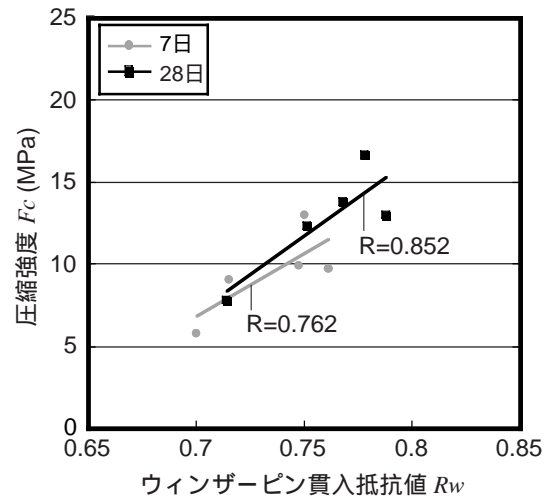
養生、測定面別のモルタルの圧縮強度 F_c とウィンザーピン貫入抵抗値 R_w の関係を図-7に示す。同程度の圧縮強度において、ウィンザーピン貫入抵抗値は、上面、側面、底面の順に高くなっている。これは、ウィンザーピン貫入抵抗値が供試体の打設高さ方向の品質の差による影響を受けるためである。

(2) 養生方法の影響

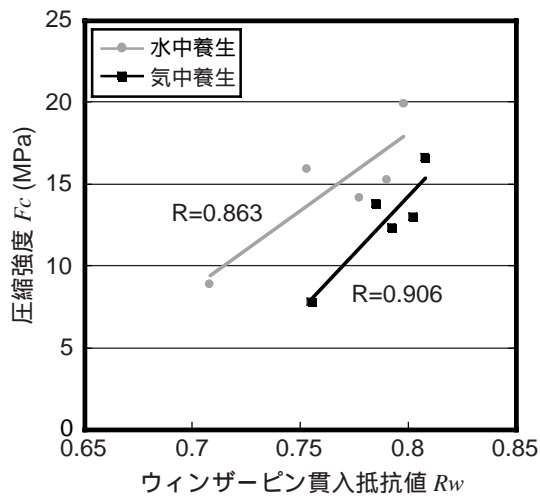
図-8は、材齢28日の供試体における、圧縮強度 F_c とウィンザーピン貫入抵抗値 R_w の関



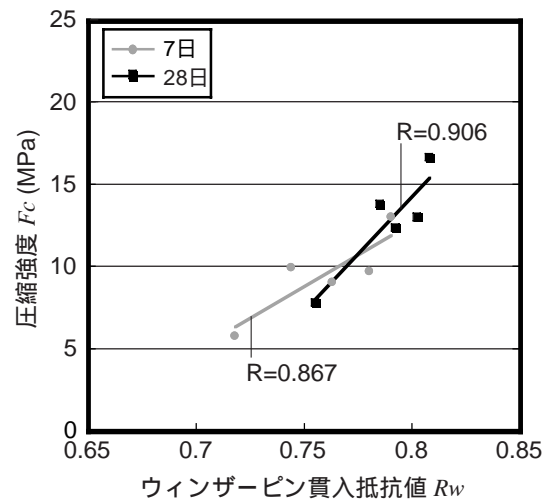
(a) 上面



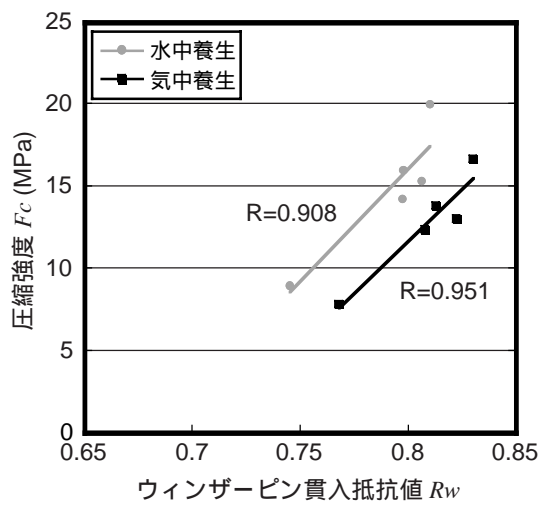
(a) 上面



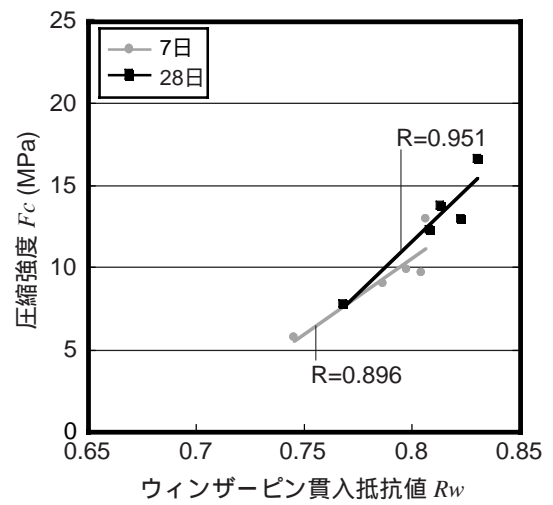
(b) 側面



(b) 側面



(c) 底面



(c) 底面

図-8 モルタルの圧縮強度 F_c とウィンザーピン貫入抵抗値 R_w の関係(養生方法別)

図-9 モルタルの圧縮強度 F_c とウィンザーピン貫入抵抗値 R_w の関係(材齢別)

係を，各測定面において養生方法別に比較したものである。いずれの測定面においても，気中養生時よりも水中養生時のほうが，同程度の圧縮強度に対してウインザーピン貫入抵抗値が小さくなる。これは，供試体表面の含水の影響と考えられる。

(3) 材齢の影響

図-9は，水中養生を行った供試体における，圧縮強度 F_c とウインザーピン貫入抵抗値 R_w の関係を，材齢別に比較したものである。材齢28日のものは材齢7日のものより回帰直線の勾配が急になっている。これは，供試体表面の強度発現状況に違いがあるものと考えられるが，明確な原因を把握するには，さらなる研究が必要である。

4. 各非破壊検査法の組合せによる圧縮強度推定式

4.1 ウインザーピン貫入抵抗値 R_w と反発度 R_0 による推定式

本実験条件の範囲におけるモルタルの圧縮強度の推定式として，ウインザーピン貫入抵抗値 R_w と反発度 R_0 を要因として重回帰分析を行った結果，次式が得られた。

$$F_c = 18.64R_w + 0.73 R_0 - 13.83 \quad (1)$$

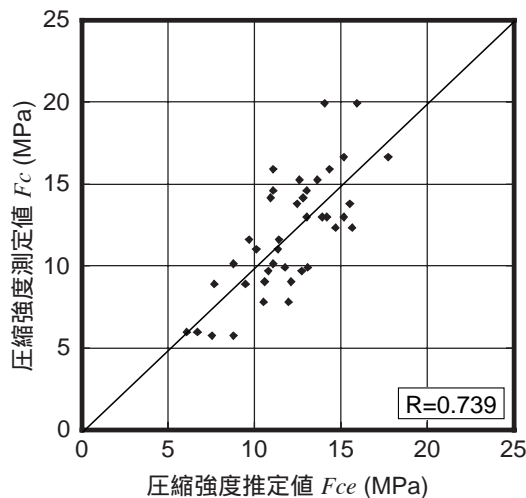


図-10 圧縮強度の測定値 F_c と式(1)による推定値 F_{ce} の関係

ここに， F_c ：圧縮強度 (MPa)

R_w ：ウインザーピン貫入抵抗値

R_0 ：反発度

推定式(1)の相関係数は0.739であり，ウインザーピン法を単独で用いた場合の0.623よりも推定精度は高くなる。圧縮強度の測定値 F_c と式(1)による推定値 F_{ce} との関係を図-10に示す。

4.2 ウインザーピン貫入抵抗値 R_w と超音波伝播速度 V_l による推定式

ウインザーピン貫入抵抗値 R_w と超音波伝播速度 V_l を要因として重回帰分析を行った結果，次式が得られた。

$$F_c = 40.35 R_w + 8.01 V_l - 45.68 \quad (2)$$

ここに， V_l ：超音波伝播速度 (km/s)

推定式(2)の相関係数は0.933であり，非常に高い相関を示した。これは，本実験において，圧縮強度と超音波伝播速度の相関係数が特に高かったことによる。圧縮強度の測定値 F_c と式(2)による推定値 F_{ce} との関係を図-11に示す。

4.3 ウインザーピン貫入抵抗値 R_w と反発度 R_0 および超音波伝播速度 V_l による圧縮強度推定式

ウインザーピン貫入抵抗値 R_w と反発度 R_0 および超音波伝播速度 V_l を要因として重回帰分析を行

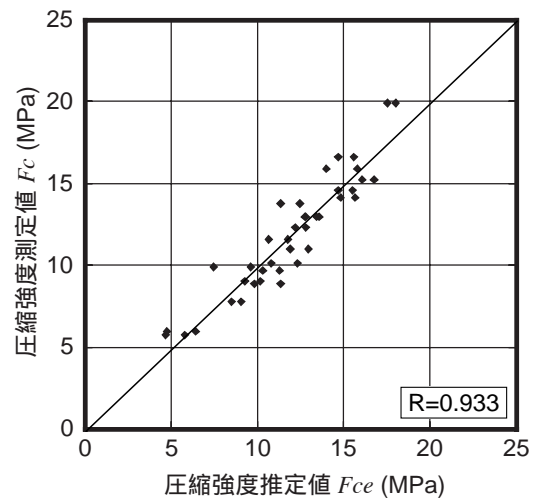


図-11 圧縮強度の測定値 F_c と式(2)による推定値 F_{ce} の関係

った結果、次式が得られた。

$$F_c = -0.24R_w + 0.57R_0 + 7.77VI - 22.35 \quad (3)$$

推定式(3)の相関係数は0.955であり、ウインザーピン法と超音波速度法の二者による場合の0.933よりもわずかに向上した。圧縮強度の測定値 F_c と式(3)による推定値 F_{ce} との関係を図-12に示す。

5. まとめ

本研究では、ウインザーピン法によるモルタルの強度推定に関する実験を行い、水セメント比50～90%のモルタルの圧縮強度の推定式を求めた。また、細骨材種類と細骨材体積率を同一とした場合の、ウインザーピン貫入抵抗値に影響を与える要因について考察した。さらに、各種の非破壊検査法とウインザーピン法との組合せによる圧縮強度推定式を求めた。

本研究で得られた知見は以下のとおりである。

- 1) ウインザーピン法による圧縮強度の推定精度は、反発度法や超音波速度法によるものよりも若干劣るが、目地モルタルの強度を推定するにはウインザーピン法が有用である。
- 2) モルタルの圧縮強度が20MPa以下の範囲において、ウインザーピン貫入抵抗値は圧縮強度が小さいほどばらつく傾向にある。
- 3) ウインザーピン貫入抵抗値は、モルタルの打設高さ方向の品質の差の影響を受ける。
- 4) ウインザーピン貫入抵抗値は、供試体の養生条件の影響を受け、同程度の圧縮強度であれば、気中養生時よりも水中養生時のほうが小さな値を示す。
- 5) ウインザーピン法を反発度法や超音波速度法と組み合わせることにより、圧縮強度の推定精度が高くなる。

なお、細骨材の種類および体積比を変化させた場合の実験を引き続き行う予定である。

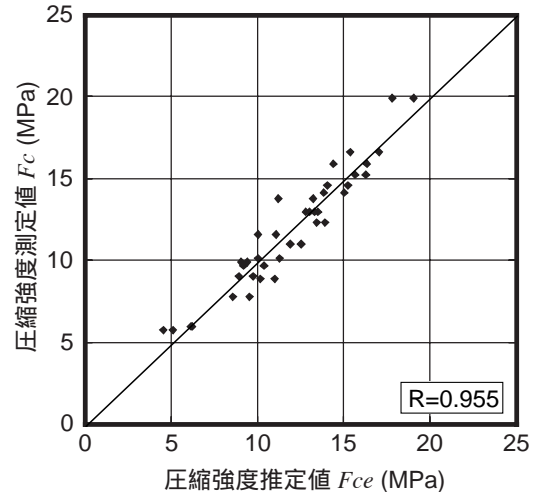


図-12 圧縮強度の測定値 F_c と式(3)による推定値 F_{ce} の関係

謝辞

本研究は、平成15年度文部科学省科学研究費補助金・基盤研究(B)によった。また、本研究に際して、青木孝義先生(名古屋市立大学)、山下宏明氏(鹿島建設)、藤森繁氏、大西努氏および比嘉盛嗣氏(名古屋大学大学院生)の助力を得た。付記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 大橋幾世・青木孝義・込山貴仁・谷川恭雄・畑中重光・濱崎仁・湯浅昇：ヴィコフォルテ教会堂を中心とする歴史的建築物の劣化現況調査と保存修復方法の提案(その2：目視と非破壊検査技術を用いた劣化現況調査)，日本建築学会東海支部研究報告集，No.41，pp.137-140，2003.2.
- 2) 込山貴仁・青木孝義・谷川恭雄・湯浅昇・畑中重光・濱崎仁：ヴィコフォルテ教会堂を中心とする歴史的建築物の劣化現況調査と保存修復方法の提案(その3：材料強度の推定法に関する研究)，日本建築学会大会学術講演梗概集(東海)，A-1，pp.153-154，2003.9.