

非破壊検査を用いた低強度コンクリートの強度推定手法に関する基礎的検討

Evaluation method of low-strength concrete with some non-destructive testing

ライフサイクル工学研究室 宮部 裕太郎

Life Cycle Engineering Laboratory Yutaro Miyabe

1 研究の背景と目的

バングラデシュなど発展途上国のRC造構造物では、コンクリートが設計基準強度を満たさない場合も多く、耐震性が乏しいために地震災害時には深刻な被害に繋がるリスクが大きい。バングラデシュにおける調査事例では、実際の圧縮強度が 5N/mm^2 を下回る極めて低品質のコンクリートが散見される。そのため、耐震診断・改修が必要不可欠であるが、対象とすべきRC造建築物は膨大であり、各対象建築物のすべてからコアを採取して強度を測定することは現実的ではない。また、特に古い年代の建築物では設計図書が残っていない、または、設計強度を満たさない場合も多いため、書類調査などによるスクリーニングも有効ではない。そのため、緊急対応が必要と思われる低品質なコンクリート部材を、非破壊検査により現地でスクリーニング可能な手法が確立できれば、耐震改修の効率化に大いに役立つものと考えられる。

そこで本研究では、簡易な非破壊検査によって精度よく低品質コンクリートの実強度を推定する手法を確立するために、現地で散見される低品質コンクリートを模擬して作製した試験体に対して各種非破壊検査を行い、実際の圧縮強度と比較して強度推定手法について考察を行った。また、実際のバングラデシュ国内の建築物から採取したコンクリートコア（以下、コンクリートコアと表記）に対しても非破壊検査を行い、その精度を確認した。

2. 実験概要

2.1 試験体概要

本実験では、低強度化のために、水セメント比を0.6, 0.8, 1.0, 1.2, 2.0の5種類として試験体を作製した。粗骨材にはバングラデシュにて一般的なレンガ片（密度 1.22g/cm^3 ）のほか、力学的特性が類似¹⁾している、Lグレード相当の再生骨材（密度 2.5g/cm^3 ）、普通砕石（密度 2.67g/cm^3 ）の3種類を用いた。セメントは早強ポルトランドセメント、細骨材は陸砂、砕砂および人工軽量骨材（以下、LWA、密度 $0.24\sim 0.29\text{g/cm}^3$ ）を使用した。また、高水セメント比の練り混ぜの際に材料分離を生じさせないように、石灰石微粉末をフィラーとして使用した。供試体は、各種非破壊検査用の $15\text{cm}\times 15\text{cm}\times 53\text{cm}$ の角柱試験体および圧縮試験用の $\phi 10\times 20\text{cm}$ の円柱試験体とした。打設後1日で脱型し、測定まで室温で気中養生を行った。また、コンクリートコア（ $\phi 5\times 10\text{cm}$ ）に対しても、非破壊検査手法を適用した。

2.2 非破壊検査概要

コンクリートの圧縮強度を直接・間接的に推定する非破壊検査手法には、超音波を用いた音響法やコンクリート表面の硬さを評価する表面硬度法、コンクリート中の吸水率を測定する吸水試験などがある²⁾。ここでは、中でも簡易かつ短時間で検査が完了すると期待できるものとして、ひっかき傷試験、低強度用L型リバウンドハンマー試験、ウィンザーピン試験、流下試験を行った。ただし本稿では、紙幅の制限により前者2つを取り上げる。主に低強度域の異なる圧縮強度を対象とするために、各種の測定は材齢を変化させて実施した。

(a)ひっかき傷試験³⁾

引っかき傷試験器は、 9.8N の定荷重が加えられた鋼製針でコンクリート表面を引っかくことで生じる傷幅より、コンクリート表面の硬度を推定するものである。ここでは、日本建築仕上学会式引っかき傷試験器により、試験体1体の表面に対して3ヶ所ずつひっかき傷をつけ、クラックスケールでその傷幅を測定し、その平均値を算出した。

(b)低強度用L型リバウンドハンマー

低強度用L型リバウンドハンマーにより、地面に静置した角柱試験体の側面に、 50mm の間隔で10ヶ所から反発速度比 Q を測定した。また、コンクリートコアに適用の際には、固定のために 1.3N/mm^2 の荷重を与え、コアの側面にて測定した。

3.実験結果と考察

3.1 圧縮強度

各種調査における圧縮強度と材齢の関係を図1に示す。水セメント比を大きくすることで低強度を実現できている。一方で、レンガ片を骨材とした場合には同水セメント比の中では高い圧縮強度が得られている。ここで用いたレンガ片は国産材であるため、バングラデシュで用いられるものとは品質が大きく異なるものと考えられる。また、水セメント比を1.0以上とした場合にのみ、圧縮強度が 10N/mm^2 を下回った。ここでは極めて若材齢のみを対象としているため、長期材齢となった場合には想定する低強度を上回ってしまうことが予想される。これは、セメントなど使用材料の性質や施工方法が、本邦とバングラデシュでは異なるためと考えられる。

3.2 ひっかき傷試験

圧縮強度と引っかき傷幅の関係を図1に示す。図中の破線の直線は西川ら⁴⁾ ①型粹面、②切断面、③曲

線は笠井ら⁵⁾による推定式である。図より比較的圧縮強度の大きい引っかけ傷幅0.7mm(図中縦点線)以下場合は、いずれの近似式とも異なる傾向を示した。この強度域を対象とした提案式を図中実線で示す。この提案式のように、骨材種類によらず圧縮強度と比例関係があるものと考えられ、特に傷幅が0.7mm以上の場合には、圧縮強度が10N/mm²以下になるものと推定される。ただし、コンクリートコアは、模擬試験体に比べ同じ強度でも測定傷幅が小さい。これは切断面に当たるコア側面にて計測を行っており、粗骨材部分とモルタル部分では傷幅に差があること、また、コアの大きさが十分ではなく、安定的なひっかけ傷を得られなかったためと考えられる。図3にコンクリートコアの引っかけ傷跡を示す。

3.2 低強度用L型リバウンドハンマー

圧縮強度と反発速度比Qの関係を図4に示す。この図より、骨材種類に関わらず反発速度比Qと強い相関関係があることが確認された。ただし、破線の既往の推定式では圧縮強度をやや過大評価する傾向がある。そのため、本実験結果に基づき、また、①②式を参考に線形関係とした提案式を図中実線で示す。本研究で対象とする低強度領域では、高強度領域よりもばらつきが小さく、反発速度比Qが25(推定式による換算圧縮強度は6.4N/mm²)以下の場合には、圧縮強度が10N/mm²に満たないことが推定される。また、今回使用したコンクリートコアにおいても、提案式が適用可能なものと考えられる。

4.まとめおよび今後の展望

本検討では、低品質コンクリートを模擬した試験体を作製し、各種の非破壊検査によって特に低強度域の圧縮強度の推定手法を検討した。また、コンクリートコアに対しても同様の手法を適用し、圧縮強度の推定を行った。ひっかけ傷試験では、高強度域では既存の推定式が適用可能である一方で、圧縮強度が10N/mm²程度以下のコンクリートに関しては十分な精度が得られなかった。そのため、推定式を新規に提案し、傷幅による低強度のスクリーニングの可能性を示した。ただし、今回用いたコンクリートコアでは、十分な精度が得られなかったため、今後は現地での検査を行い、適用の可能性を検討する必要がある。

リバウンドハンマー試験に関しては、今回対象にしている低強度域ではばらつきが小さく、有効な強度推定手法になることを確認した。また、強度推定式を新たに提案し、反発速度比Qが25以下の場合に圧縮強度が10N/mm²に満たない可能性が極めて高いことを示した。

今後はこれらの非破壊検査結果を複合的に評価することで、推定精度を上げる必要があると考えられる。

W/C	レンガ片	再生骨材	砕石	LWA	コア
0.6	▲	◆	○	●	× W/C 不明
0.8	▲	◆	○	●	
1.0	▲	◆	○	●	
1.2	▲	◆	○	●	
2.0	▲	◆	○	●	

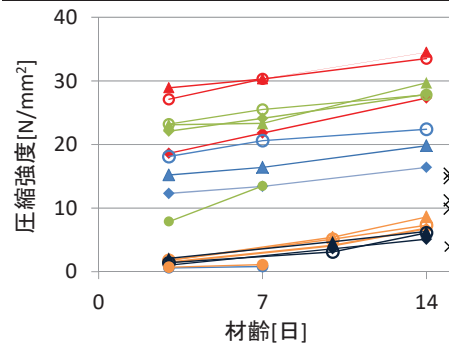


図1 材齢と圧縮強度の関係

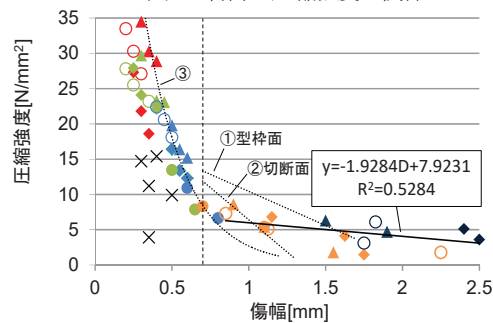


図2 傷幅と圧縮強度の関係



図3 バングラデシュのコンクリートコアの引っかけ傷跡

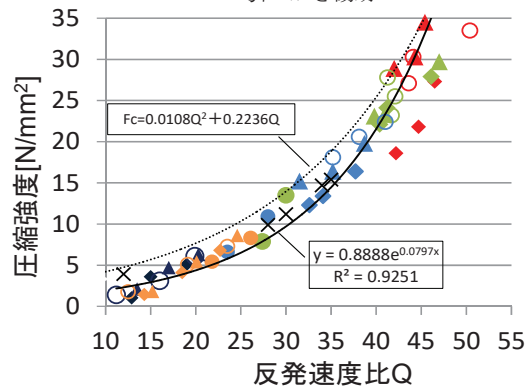


図4 反発速度比と圧縮強度の関係

[参考文献]

- Effect of confining pressure distribution on the dilation behavior in FEP-confined plain concrete using stone, brick and recycled aggregates, Construction and Building Materials 102(2016)541-551
- 湯浅昇: コンクリート構造物の非破壊検査・微破壊試験の研究と実用化
- 辻奈津子ほか: 各種非破壊検査法による低強度コンクリートの強度推定方法に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集
- 西川奈津子ほか: 各種非破壊検査法による低強コンクリートの強度推定方法に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集 pp.241-242, 2007
- 笠井芳夫ほか: コンクリートの早期ひっかけ傷幅による材齢28日強度の推定, シンポジウム クリート構造物への非破壊検査の展開論文集, Vol. 2, pp. 419-420, 200