

# バングラデシュを対象とした低強度コンクリートの非破壊検査によるスクリーニング手法の開発

Development of a Screening Method for Low Strength Concrete in Bangladesh using Non-destructive Tests

ライフサイクル工学研究室 初 航

Lifecycle Engineering Laboratory Chu Hang

## 1. はじめに

コンクリートは主要な建築材料として、世界中で大量に使用されている。それぞれの国や地域にはコンクリートを適切に用いるための基準類などが整備されているが、特に発展途上国においては品質管理が十分でないなど、低質なコンクリートが用いられる場合もある。本研究が対象とするバングラデシュでは、特に1971年の独立戦争以降、十数年間に亘る政治的混乱期に建設されたコンクリートにおいて、圧縮強度が5 MPaを下回るものも散見される。更に、周辺諸国で地震が頻発するバングラデシュの地震リスクは大きく、喫緊の対応が必要である。しかし、膨大な既存RC建築物に対し、本邦で実施されるような詳細な耐震診断を網羅的に行うことは現実的ではない。このことを背景として、本研究では簡易に実施可能な非破壊検査(以下、NDT)により、特に強度の低いコンクリートを現地においてスクリーニングが可能な手法の開発を目的に、国内で作製した模擬試験体を用いての検討と、バングラデシュ現地での調査を実施した。

## 2. 模擬試験

バングラデシュの低強度コンクリートを模擬するために、現地で広く用いられているレンガチップ粗骨材を用いて、低強度コンクリートの模擬試験体を作製し、それに対して各種 NDT 及び圧縮試験を行った。ここでは、より現地の状況に近いものとして、低温焼成による低強度レンガを用いた。

### 2.1. 試験体概要

上述のように、ここでは低強度レンガを砕いたチップ(BC)を粗骨材に用いた。これは通常の吸水率が13%と砕石骨材と比較して極めて大きく、レンガ自体の圧縮強度も23 MPaと小さい(通常砕石は一般的に100 MPa以上)。その他の使用材料には、結合材として普通ポルトランドセメント、混和材として石灰石微粉末(LSP)、細骨材には陸砂と砕砂を混合して用いた。低強度コンクリートとするために、水セメント比を2.1、2.0、1.5、1.0と0.6の5種類と大きく取り、材料分離を抑制するためにLSPをセメントの代替として用いた。また、一部の材料分離が生じた調合には増粘剤を併用した。

試験体には、圧縮強度試験用に $\phi 100 \times 200$  mm シリンダーと、各種 NDT 用に $150 \times 150 \times 600$  mm の角柱試験体を用いた。練混ぜは、螺旋アーム式二軸強制練りミキサーより行った。打設後は、硬化が確認できた段階で脱型し、その後の養生方法は室温 $20^\circ\text{C}$ での湿空養生とした。

### 2.2. NDT

簡易な NDT としてリバウンドハンマー、引っかき試験及びウィンザーピン試験を行った。紙幅の都合により、ここではリバウンドハンマーと引っ

かき試験についてのみ記載する。

リバウンドハンマーには Silver Schmidt L 型(Proceq 社製)を使用し、低強度用(15 MPa 以下)のマッシュルームヘッドを用いた。これは、コンクリート表面を打撃して得られる反発速度比から表面硬さを測定するものである。打撃箇所は図1のように、JIS A 1155 の規定に従い、角柱試験体の縁部から5 cm 以上はなれた場所を3 cm 間隔のグリッドとし、鉛直方向に打撃を行った。

引っかき試験には、日本建築工学会式の試験器(ライナックス社製)を使用した。これは、コンクリート表面に対して1.0 kgf の力で鋼製ピンを押し当て、10 cm 以上の引っかき傷をつけて、表面に残る傷幅を測定するものである。細骨材の剥がれ跡のような明らかな外れ値を除いた、引っかき傷の最大幅を代表値として測定した。また、引っかき傷幅の観察を容易にするために、図1が示すよう、試験体の表面にスプレーで着色した。

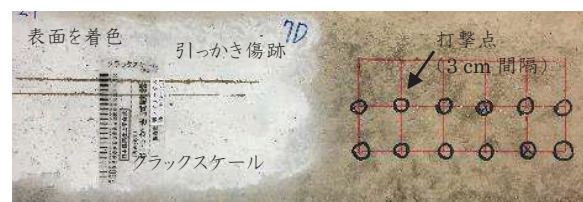


図1 角柱供試体

### 2.3. 実験結果

図2に、既往の検討結果<sup>1)</sup>と併せて、今回得られたリバウンドハンマーによる反発速度比 $Q$ と、シリンダー試験体から得られた圧縮強度の関係を示す。既往研究では普通の日本産レンガのチップを含めた全ての骨材でも一つの回帰式より強度を推定できたが、BC骨材の場合にのみ、 $Q$ と圧縮強度の関係が異なることが確認できる。これは、リバウンドハンマーの影響範囲はコンクリート表面から10~20mmとされる<sup>2)</sup>ため、強度が極めて小さいBC骨材が $Q$ に影響を与えたためと考えられる。通常コンクリートに圧縮応力が生じる場合には、強度の弱い骨材とマトリックスの界面でひび割れが生じるが、BC骨材を用いた場合、ひび割れが粗骨材を貫通して生じる場合が確認された、破壊性状が異なることが確認された。この場合、 $Q$ が35以下では圧縮強度が10 MPa以下になると考えられる。

図3に引っかき傷幅と圧縮強度の関係を示す。この図に示されるように、引っかき試験においては低強度BC骨材を用いた場合においても、既報データ<sup>1)</sup>と同様の傾向が確認できる。すなわち、引っかき試験においては骨材種類に関わらず、引っかき傷幅と圧縮強度には相関関係があることが確

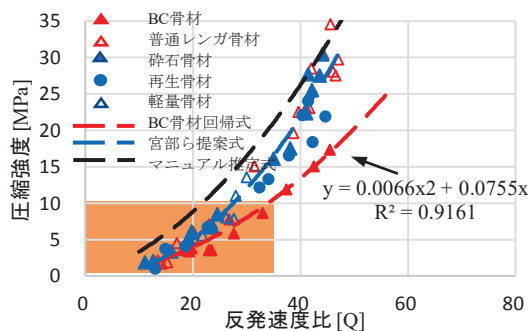


図3 反発速度比 Q と圧縮強度の関係

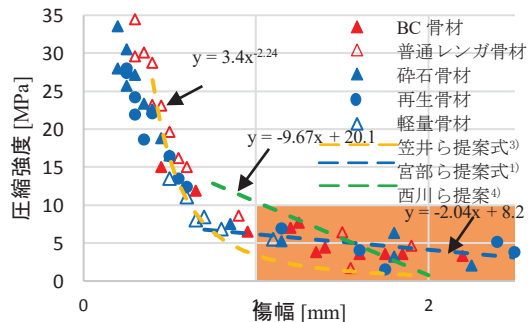


図4 引っかき傷幅と圧縮強度の関係

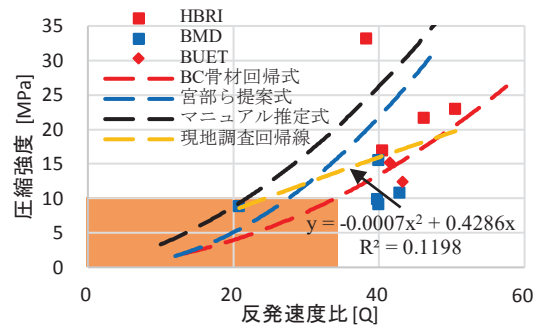


図5 現地調査での反発速度比と圧縮強度の関係

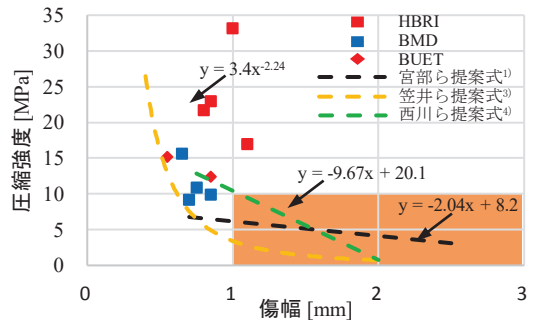


図6 現地調査での引っかき傷幅と圧縮強度の関係

認できる。スクリーニング対象となる 10 MPa 以下の領域に着目した場合、図中にオレンジの部分で示す、引っかき傷幅が 1.0 mm 以上がその範囲となると考えられる。また、この範囲においては、図中の既往研究による提案式により、引っかき傷幅から圧縮強度が推定可能と考えられる。このように、引っかき試験の場合は骨材種類が引っかき傷幅と圧縮強度の関係に影響を及ぼさないのは、リバウンドハンマーとは異なり、基本的に表面のマトリックス部分にのみ影響するためと考えられる。

### 3. バングラデシュ現地調査

模擬試験体での結果を検証するため、バングラデシュ現地にてリバウンドハンマーと引っかき試験を行った。ここでは、骨材にレンガチップ (HBRI) および砕石 (BMD) を使用した既存建築物と、レンガチップ骨材による試験体 (BUET) を対象とした。現地では、ほとんどの建築物の躯体にはモルタル塗による仕上げが施されるため、NDT はこれを撤去した後に実施した。しかし、撤去後のコンクリート表面は粗く、可能な限り平滑に研磨したが、HBRI が最も粗く、続いて BMD, BUET となった。

#### 3.1. 試験結果

図 5, 図 6 に、採取コアによる圧縮強度と、反発速度比 Q, および、引っかき傷幅との関係それぞれを示す。図 5 が示すようにバングラデシュ現地のコンクリートでは、砕石骨材を用いた BMD を含めて Q と圧縮強度の関係は、模擬試験体における BC 骨材の関係式に近く、ばらつきは見られるものの、同様の推定式で強度推定とスクリーニングが可能なのと考えられる。引っかき試験結果は、模擬試験体から得られた回帰式と大きく異なる傾向を見せており、極めてばらつきが大きい。これは、引っかき試験が表面の状態が悪い時傷幅が読み取りにくいからである。

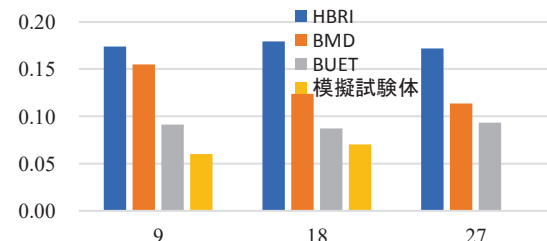


図7 リバウンドハンマーの測定回数と変動係数

### 3.2. コンクリート表面の平滑さの影響

現地調査対象のコンクリート表面はかなり粗く、計測結果には大きなばらつきが見られる。図 7 は、リバウンドハンマーの各測定対象の変動係数を比較したものである。表面の平滑さは、粗い順に HBRI, BMD, BUET, および、模擬試験体であり、変動係数もこれと同じ順に小さくなる。

### 4. まとめ

本研究では BC 骨材を用いてバングラデシュの低強度コンクリートを模擬し、各種 NDT による低強度コンクリートのスクリーニング手法を検討した。その結果、いずれの NDT 手法においても、精度良く 10 MPa を対象としてスクリーニングが可能であった。一方で、現地調査では各種 NDT の精度はコンクリートの表面状態に大きく左右されることが確認された。引っかき試験はその影響が特に大きい、リバウンドハンマーは比較的粗い表面にも適用可能であった。

#### [参考文献]

- 1) 西脇智哉ほか：日本建築学会大会学術講演梗概集, A-1 材料施工, pp.569-570, 2017
- 2) 野中英ほか：日本建築学会技術報告集, Vol.23, No.54, pp.397-402, 2017
- 3) 笠井芳夫ほか：シンポジウム：コンクリート構造物への非破壊検査の展開論文集, Vol.2, pp.417-420, 2006
- 4) 西川奈津子ほか：日本建築学会学術講演梗概集 (九州), A-1 材料施工, pp. 241-242, 2007