けい酸塩系表面含浸工法における改質深さの推定方法に関する検討

香川高等専門学校　学生会員　○荻田綾花　香川高等専門学校　正会員　長谷川雄基
香川高等専門学校　正会員　林和彦　香川高等専門学校　非会員　北村大地

１．はじめに

コンクリート構造物の補修工法の一つであるけい酸塩系表面含浸工法は，けい酸塩系表面含浸材（以下，本報における「含浸材」はすべてけい酸塩系表面含浸材を指す）をコンクリート表面に塗布することで，表層部の緻密化やアルカリ性付与などの改質効果を発揮するものである．本工法では，含浸材の改質深さが塗布後の耐久性に影響するため，工法適用後は改質深さを測定することが重要である．現状では，改質深さの測定方法として定められたものはないが，先行研究において，含浸材塗布面の硬度増加特性を利用した，ビッカース硬さ試験が検討されている[1)]．

本研究では，先行研究を参考に，ビッカース硬さ試験により改質深さを求めた．そして，得られた結果について，著者らがこれまでに検討してきた表層引張強度試験[2)]および超音波試験[3)]の結果と関連付けて，各試験における改質深さの評価手法を検討した．

２．試験方法の概要

２．１　供試体の概要

本実験では，水セメント比（以下，W/C）が 40%，50%，60%のモルタル供試体を使用した．供試体は打設後 24 時間で脱型して 28 日間水中養生した後，けい酸ナトリウムが主成分の含浸材を塗布して 28 日後にビッカース硬さ試験に供した．

２．２　ビッカース硬さ試験の概要

モルタル供試体について，含浸材塗布面に対して垂直に切断し，その切断面において微小硬さ試験機でビッカース硬さを測定した．測定においては，まず含浸材塗布面から深さ方向に 20mm 以上となる位置で測定した値を非改質層のビッカース硬さとした．次に，含浸材塗布面から深さ方向に 1.0mm 間隔ごとに順次測定を行い，非改質層と同等のビッカース硬さが確認された位置で測定終了し，非改質層よりも硬度が大きい領域を改質深さとした．試験力は 4.903N，保持時間は 15 秒とし，各測定深さにつき 15 点測定を行った．

３．結果と考察

３．１　ビッカース硬さ試験の測定結果

ビッカース硬さの測定結果を**図-1** に示す．いずれの W/C においても，含浸材の塗布面に近いほどビッカース硬度は大きく，それぞれある深さ以上ではほぼ一定の値となった．また，W/C が小さいほどビッカース硬さは大きくなり，硬度増加量も大きくなることが確認できた．W/C ごとの改質深さを推定すると，W/C=40%では表面から 6mm，W/C=50%では表面から 4mm，W/C=60%では表面から 3mm までが硬度増加が確認できる領域であり，これらが各 W/C における改質深さと考えられた．

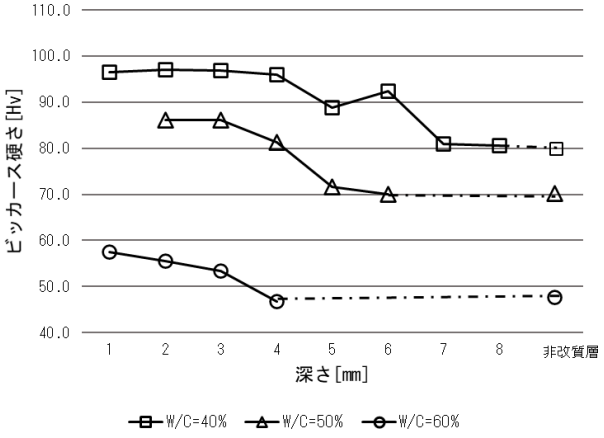

図-1　ビッカース硬さの測定結果

３．２　表層引張強度試験結果との比較

ビッカース硬さ試験で得た改質深さと表層引張強度試験で推定した改質深さを比較検討する．表層引張強度試験では，既往研究[2)]にて，治具を引張する際の治具周縁部の縁切り深さを様々に変化させて試験を行い，

W/C=40%では 5～10mm，W/C=50%では 3～5mm，W/C=60%では 1～3mm が改質深さと推定した．両試験で得られた改質深さを**図-2** に示す．いずれの W/C においても，両試験における改質深さは一致していることが確認できた．表層引張強度試験は原位置での試験として適用できるという特徴がある．よって，今回の検討方法では縁切り深さを様々に設定した試験区画が必要などの課題はあるが，現場で改質深さを推定する手法の一つとして適用できる可能性が示された．

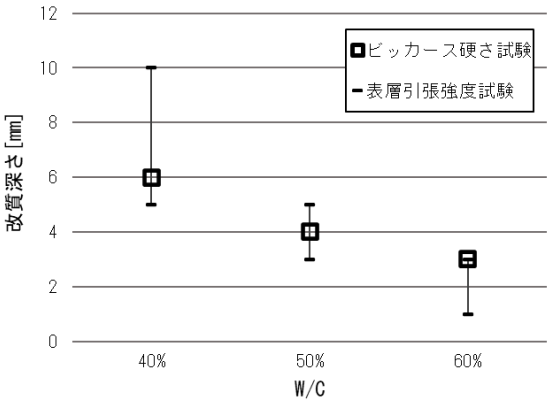

図-2　ビッカース硬さ試験と表層引張強度試験で得た改質深さ

３．３　超音波試験結果との比較

既往研究[3]より，超音波試験で改質効果の有無を概ね評価できた．本研究では，含浸材塗布供試体と無塗布供試体の超音波伝播速度の差異を利用し，改質深さを算出する手法を検討した．算出式を式(1)に，文字式の定義と算出概念を**図-3** に示す．本法を実際に適用する場合は，V と V_F を実験室レベルで測定しておき，現場試験で h を算出することが目的となる．本研究では，3.1 の結果および既往研究[3]より V と h の値が測定できているため，V_F を推定し，V と比較することで，式(1)の適用性を検証した．結果の一例を**表-1** に示す．結果として，V より V_F の値が著しく小さくなっており，この V_F は正確な値を推定できていないと考えられる．すなわち，式(1)および**図-3** の考え方が成立していない可能性がある．この原因については現在検証中である．また，本研究で実施した直接法以外にも，表面走査法による測定も進めており，今後，超音波試験による改質深さの推定方法について詳細を検討していく予定である．

$$d = \frac{h}{V_F} + \frac{L-h}{V} \quad \Rightarrow \quad h = V_F\left[d - \frac{L-h}{V}\right] \qquad \text{式(1)}$$

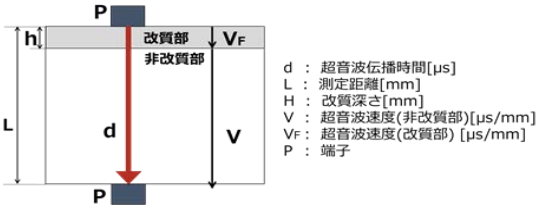

図-3　超音波試験による改質深さ推定の概念図

表-1　V_F の推定結果と V(実測)の比較
(W/C=40%，端子間距離 40mm)

供試体No.	超音波伝播時間[μs]	V [mm/μs]	V_F [mm/μs]
1	8.9	4.49	1.57
2	8.9	4.49	1.57
3	8.9	4.49	1.57

４．まとめ

(1)　ビッカース硬さ試験の結果より，W/C ごとに含浸材の改質深さの違いがあり，試験によって得られた改質深さは W/C=40%では 6mm，W/C=50%では 4mm，W/C=60%では 3mm であることが確認できた．

(2)　ビッカース硬さ試験によって得られた改質深さを表層引張強度試験の結果と関連付けたところ，表層引張強度試験において改質深さが評価できることが分かった．

(3)　超音波試験による改質深さの算出手法として式(1)を提唱したが，式が成立していない可能性があり，現状では改質深さの推定はできず，今後の検討課題となった．

５．参考文献

1)　黒岩大地，宮里心一：けい酸塩系表面含浸材の改質部における見かけの拡散係数の推定方法の提案と発錆遅延期間の試算，土木学会論文集 E2，Vol.71，No2，pp.124-134，2015，2)　長谷川雄基，大浦美雨，喜多あおい，松本将之，林和彦：表層引張強度試験によるけい酸塩系表面含浸材の改質効果の確認手法，コンクリート構造物の補修，補強，アップグレード論文報告集，第 20 巻，pp.441-446，2020，3)　長谷川雄基，大浦美雨，周藤将司，松本将之，林和彦：けい酸塩系表面含浸材の改質評価における超音波法の適用性に関する基礎検討，2020 年度農業農村工学会大会講演会，pp.105-106，2020

謝辞：ビッカース硬さの測定においては，香川高等専門学校の徳田太郎准教授に御指導頂きました。記して謝意を表します．