

報告 市役所職員の施工による断面修復工での竣工検査の高度化を目的とした非破壊試験の活用事例

勇 秀忠*1・岩野 聡史*2・木下 義昭*3

要旨：橋梁の補修工法の一つに断面修復工があるが、玉名市では市役所職員による橋梁補修の直営施工（橋梁補修 DIY）を実践している。この施工においては、品質に対する懸念はあり、市民への説明責任の観点からも、品質管理を高度化が必要であると考えた。そこで、第三者の専門家が非破壊試験技術を利用する検査の実施を検討し、業者施工に対する品質管理と同じ管理基準による、直営施工に対する品質管理を実施した。その結果、直営施工の品質も業者施工での品質と同様であり、品質の妥当性を確認することができた検査結果を得たので、この結果について報告する。

キーワード：断面修復工，直営施工，橋梁補修 DIY，非破壊試験，衝撃弾性波法，弾性波伝搬速度

1. はじめに

平成 24 年 12 月に笹子トンネルで発生した天井板落下事故を契機に、国土交通省の施策は早急に展開している。その一例として、平成 26 年に社会資本整備審議会より『道路の老朽化対策の本格実施に関する提言』が公表され、現在は 5 年が経過している。また、全国の市町村における最新の橋梁メンテナンスの動向としては、平成 30 年度道路メンテナンス年報の公表結果によると、全国 72 万橋のうち約 51 万橋が市町村道に存在するにも関わらず、1 巡目の橋梁定期点検の判定区分Ⅲ、Ⅳに対する市町村の修繕実施状況は、着手した割合が 18%、着工した割合が 12%、および完了済みの割合が 11%であり、大きく遅れていると考えられる。さらに、建設後 50 年を経過した橋梁の割合は、現在は約 27%であるが、10 年後には約 52%に急増するとの予測である。これらの状況から、喫緊の対策が必要であると考えられる。

一方、熊本県玉名市の橋梁メンテナンスの進捗現状は、令和元年 11 月末現在において、1 巡目の橋梁定期点検の判定区分Ⅲ、Ⅳに対して、修繕に着手した割合が 100%、および修繕完了済みの割合が 84%と大きく進んでいる。この成果の主要因となるのは、「橋梁補修 DIY」と名付けられている市役所職員による橋梁補修の直営施工を実践したことであった。なお、この取組みに対しては、国土交通省より第 3 回インフラメンテナンス大賞の優秀賞を受賞している。この取組みの中核として、熊本県玉名市の職員による直営の断面修復工（左官工）がある。ただし、市の職員による施工（以下、直営施工）は業者による施工（以下、業者施工）と比較して、品質に明確な

差はないと考えられるが、市民の考えとしては品質への懸念があると考えられる。そこで、直営施工の実行には施工後の品質を第三者が照査することが必要であると考え、第三者である（一社）熊本県コンクリート診断士会が非破壊試験技術を利用し、業者施工に対する品質管理と同じ管理基準で、直営施工に対する品質管理を実施した。これにより、直営施工による品質の妥当性を確認する取組を行ったので、この結果について報告する。

2. 本取組みの目的

玉名市役所の管理する市道橋は、全体数 833 橋のうち約 9 割がコンクリート橋であり、約 7 割が橋長 5m 未満の RC 橋（RC ボックスカルパートを含む）である。そのため、直営施工および業者施工の双方において、小規模の断面修復工の補修実績が多い。玉名市役所での断面修復工の竣工検査としては、外観寸法等の出来高のみを検査してきた。この背景としては、玉名市のような人口 6 万人規模の小さな自治体においては、土木工事施工管理基準を参考に、規格値内での竣工を検査する慣例がある。同基準にない検査項目を実施するには、監督員との協議事項となるが、断面修復工に対しては効果的な検査項目を選定できていなかった。

しかしながら、直営施工の断面修復工においては市民への説明責任の透明性を確保し、直営施工が業者施工の代替として妥当なのかを照査することが竣工検査の目的となるが、外観検査のみでは直営施工の品質の担保に不十分であると考えられる。この目的に対しては、断面修復材と既設コンクリートの確実な接着状況を検査するこ

*1 （一社）熊本県コンクリート診断士会 理事長（正会員）

*2 リック（株）技術研究所課長 博士(工学)（正会員）

*3 玉名市役所 建設部土木課橋梁メンテナンス係長（正会員）

とが有効であると考えられる。ただし、この検査方法としてコア採取による目視試験が考えられるが、玉名市役所としては、破壊を伴う試験は可能な限り選定したくないというニーズがあった。

以上の状況より、直営施工の断面修復工において、コンクリート診断の専門家に依頼し、可能な限り簡便な非破壊試験技術により、業者施工と直営施工の断面修復工の品質を比較する検査を実施することが有効であると考え、実施した。

非破壊試験については、国土交通省が橋梁上部工・下部工施工における品質管理として平成24年3月より運用している「微破壊・非破壊試験によるコンクリート構造物の強度測定」で採用されている¹⁾、衝撃弾性波法の一手法である iTECS 法を利用した。iTECS 法は、(一社) iTECS 技術協会により、コンクリート内部の欠陥探査法に対する規格が発行されており²⁾、これに準じた試験を実施した。直営施工の断面修復工において、非破壊試験による定量的な試験結果を得て、業者施工での品質管理における検査と同様の管理基準値を設定した検査を実施することにより、直営施工の品質の妥当性を確認した。

3.非破壊試験の実施方法

3.1 測定方法

参考文献¹⁾で規定されている透過伝搬時間差法を適用した。この方法の測定状況を図-1に示す。今回の試験では、写真-1に示すとおり、補修面側となる橋梁の下面を弾性波の入力点とし、加速度計を設置したハンマ(以下、インパクターという)で打撃して弾性波を入力した。この入力点の直上となる橋梁の上面を受信点とし、受信点に加速度計(受信センサー)を設置して、断面修復材および既設コンクリートを透過した弾性波を受信した。

測定波形の例を図-2に示す。インパクターおよび受信センサーの測定波形で立ち上がりの時刻をそれぞれ測定し、両時刻の差(伝搬時間差 Δt)を測定して、入力点と受信点の最短距離から透過した弾性波の伝搬速度(以下、透過弾性波速度という)を測定した。サンプリング時間間隔は $0.1\mu s$ である。

なお、測定においては次の点に留意した。1)入力点と受信点は、インパクターと受信センサーが確実に密着できるよう、研磨等により平滑にした。2)入力点の直上が受信点となるよう、入力点と受信点の位置は測量により決定した。3)透過弾性波速度の算出に用いる入力点と受信点の最短距離は測量により求めた。

3.2 測定原理

コンクリート中を伝搬する弾性波は内部に豆板、空隙等が存在すると、1)コンクリートの弾性係数の低下により伝搬速度が遅くなる、2)弾性波は迂回して伝搬し、伝

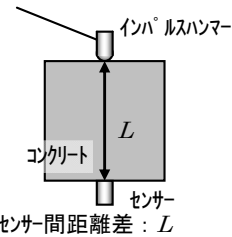


図-1 透過伝搬時間差法の測定状況図



(a) 橋梁上面での受信点設定状況



(b) 橋梁下面(補修面)での弾性波入力状況
写真-1 今回の試験での測定状況図

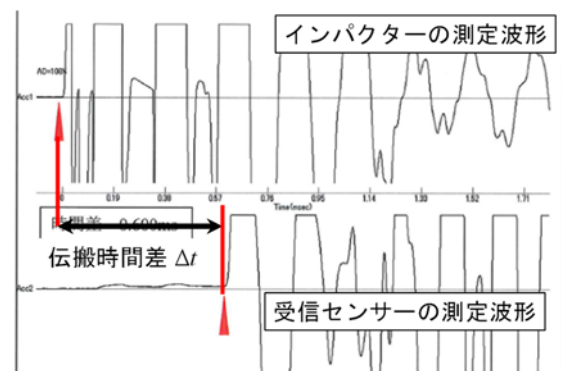


図-2 測定波形の例

搬経路が入力点と受信点の最短距離よりも長くなる、3)空隙の表面で反射する、4)入力点と空隙との間のコンクリートでのたわみによる振動(曲げ振動)が発生する、これらの現象が生じる。今回の透過弾性波速度を測定するという方法では、断面修復材と既設コンクリートとの

接着が不完全であれば、この位置に空隙が存在することにより、1)または2)の現象が生じると考えられる。つまり、断面修復材と既設コンクリートとの接着が不完全であれば、健全部と比較して測定される時間差が長くなり、透過弾性波速度は小さくなると考えられる。そこで今回は、測定された透過伝搬時間差を比較することとした。

3.3 判定基準値の設定

判定基準値は本試験方法の測定精度から設定することが望ましいと考えられる。ただし、これまで透過弾性波速度の測定精度が検証された十分な事例はない。この状況から、現状では本試験方法の測定精度が2%程度であると考え、判定基準値が設定されていることが多い。この根拠は、弾性波の往復時間と弾性波伝搬速度の両者を測定して、コンクリートの部材厚さを測定した場合の測定精度は±5%であることが、既往の研究³⁾により検証されていることに基づくものである。本試験方法では弾性波の往復時間と弾性波伝搬速度の両者ではなく、透過弾性波速度のみを測定することから5%の平方根を考慮して、2%程度であると考えられるものである。

ただし、今回の床版橋では、熊本県土木工事施工管理基準の床版工出来形管理⁴⁾において、厚さに関しては-10～+20mmの許容値が存在する。このことから、実際の部材厚さの変動を考慮して、全測定点での透過弾性波速度の平均値を算出して、その平均値より5%以上低下している場合に異常値であると判断した。また、構造物の条件は構造物毎に異なることから、各構造物で複数の測定点を設定し、平均値を算出して異常値の有無を判断した。つまり、各構造物で測定値が他点と大きく乖離する測定点が存在する場合には異常が存在していると判断する管理方法としている。なお、3.2節に示したとおり、断面修復材と既設コンクリートとの接着が不完全であることにより測定される透過弾性波速度が大きくなることはない。このことから、測定値が平均値より大きくなることに対する異常値の判定は行わなかった。

4. 業者施工による橋梁での試験結果

4.1 試験方法

試験を実施した橋梁の諸元を表-1に示す。橋梁下面の全面に対して、脆弱部を撤去したのちに型枠を設置し、グラウト材を厚さ約50mmで充填する断面修復工を実施した。非破壊試験の測定点の設定状況を図-3に示す。測定点は格子状に200mm間隔に設定した。補修範囲となる64点(図-3中Aライン～Hライン×8点)と補修範囲外の既設部(未補修部)の16点(図-3中I・Jライン×8点)である。橋梁上面での測定点の設定状況を写真-2に示す。なお、写真-1に示した測定状況は、この橋梁での測定状況である。

表-1 試験を実施した橋梁の諸元

橋梁名	橋長	幅員	構造形式	断面修復材
耳取橋	3.70m	2.85m	中実床版	グラウト

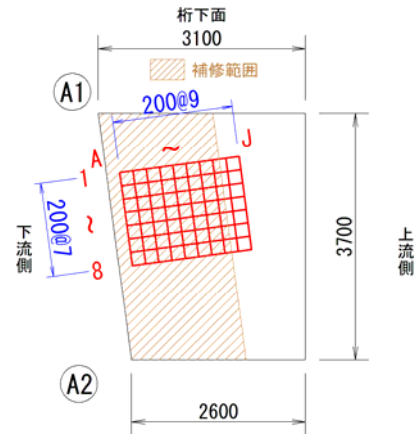
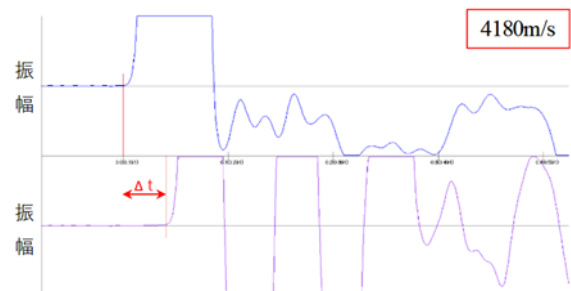


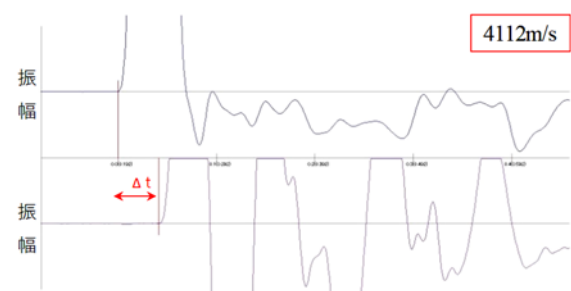
図-3 業者施工による橋梁での測定点の設定状況



写真-2 橋梁上面での測定点の設定状況



(a) 測定点：A2



(b) 測定点：H7

図-4 業者施工による橋梁での測定波形の一例

表-2 業者施工による橋梁での透過弾性波速度 (m/s) の測定結果 (朱書き: 未補修部)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	4260	4070	4192	4344	4221	4192	4163	4148	4344	4219
2	4180	4120	4236	4757	4282	4221	4050	4558	4375	4389
3	4220	4120	4224	4163	4236	4282	4163	4344	4328	4282
4	4192	4160	4267	4264	4221	4267	4251	4163	4282	4221
5	4120	4221	4221	4251	4224	4251	4297	4312	4148	4106
6	4236	4236	4221	4221	4344	4175	4344	4106	4192	4207
7	4064	4267	4206	4360	4313	4050	4198	4112	4206	4344
8	4148	4207	4163	4106	4163	4206	4236	4265	4245	4408

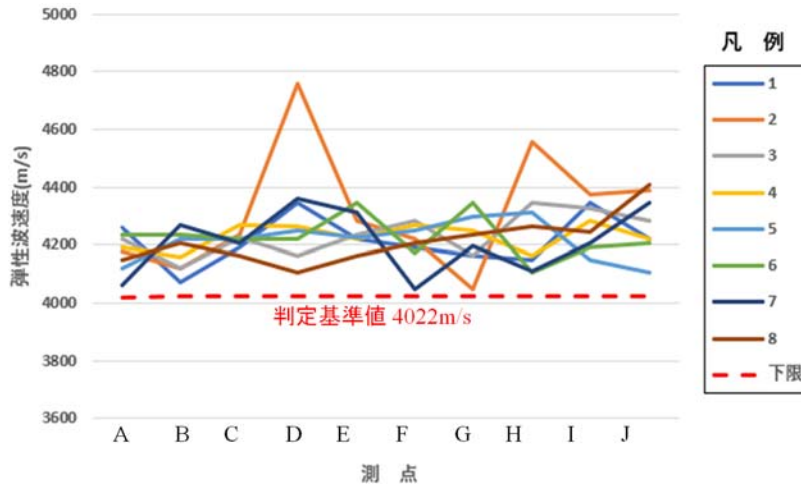


図-5 業者施工による橋梁での透過弾性波速度の測定結果

4.2 試験結果

測定波形の一例を図-4 に示す。インパクトおよび受信センサーの測定波形において、立上りの時刻を明確に判断することができた。全測定点での透過弾性波速度の測定結果の一覧を表-2, を図-5 に示す。全測定点での平均値は 4232m/s となった。このうち補修部での平均値は 4223m/s, 未補修部 (朱書き・既設部) での平均値は 4268m/s である。

全測定点とも平均値の 5%の低下から設定する判定基準値 (4022m/s) を上回る結果であり、品質に問題はないと判断される結果であった。

5. 直営施工 (橋梁補修 DIY) による橋梁での試験結果

5.1 試験方法

試験を実施した橋梁の諸元を表-3 に、施工時の状況を写真-3 に示す。橋梁下面の一部の範囲で、鉄筋腐食によるかぶりコンクリートの剥落が確認された。この箇所に対して、脆弱部を撤去し、鉄筋の防錆処置を実施した後に、左官工法によりポリマーセメントモルタル (以下、PCM とする) を厚さ約 50mm で充填する断面修復工を実施した。非破壊試験の測定点の設定状況を図-6, 写真-4 に示す。測定点は格子状に 100mm 間隔に設定した。補修範囲となる 42 点と補修範囲外の既設部 (未補修部) の 10 点である。

5.2 試験結果

表-3 試験を実施した橋梁の諸元

橋梁名	橋長	幅員	構造形式	断面修復材
築地橋	4.30m	5.80m	中実床版	PCM



(a) 劣化時の状況

(b) 鉄筋防錆処置後



(c) 断面修復材の充填後

写真-3 補修施工の実施状況

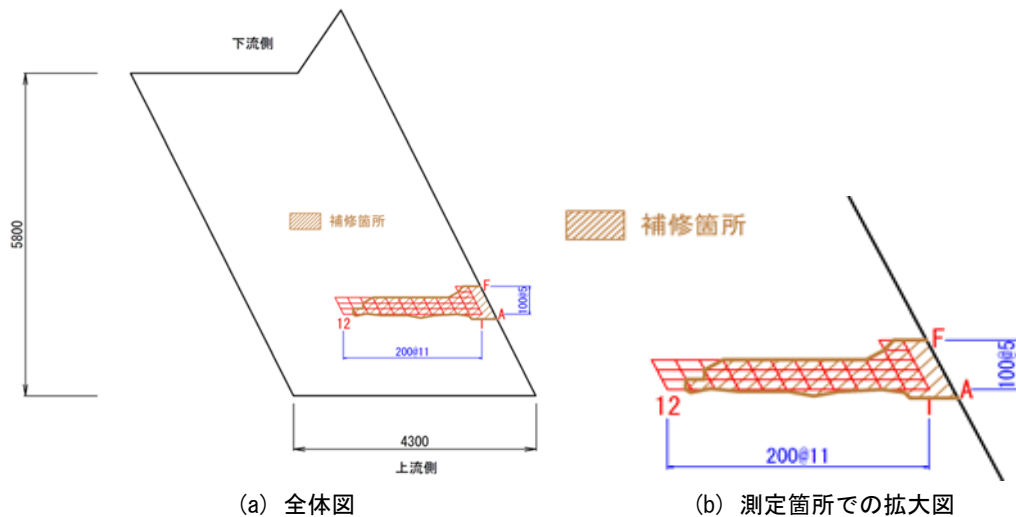


図-6 直営施工による橋梁での測定点の設定状況



写真-4 測定点の設定状況

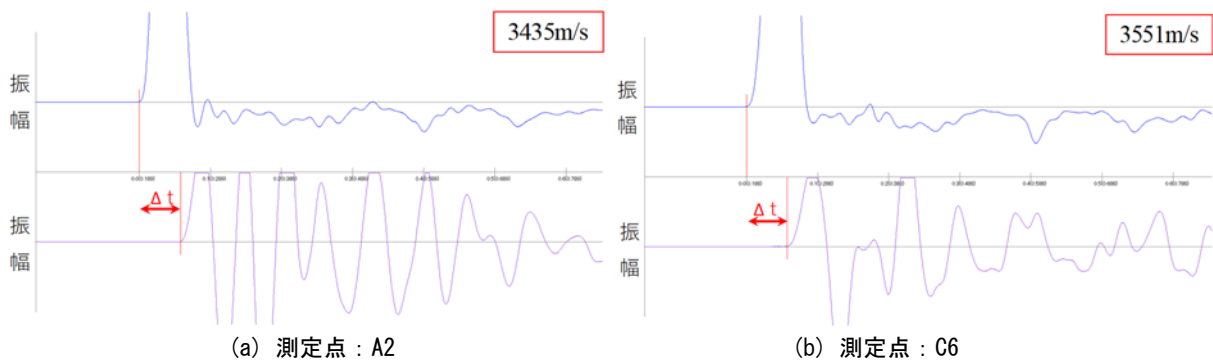


図-7 直営施工による橋梁での測定波形の一例

測定波形の一例を図-7に示す。直営施工においても図-4に示した業者施工での測定波形と同様に、インパクトおよび受信センサーの測定波形において、立上りの時刻を明確に判断することができた。全測定点での透過弾性波速度の測定結果の一覧を表-4、を図-8に示す。全測定点での平均値は3372m/sとなった。このうち補修部での平均値は3349m/s、未補修部（朱書き・既設部）での平均値は3420m/sである。

全測定点とも平均値の5%の低下から設定する判定基準値（3203m/s）を上回る結果であり、業者施工と同様に判定基準値を設定しても、品質に問題はないと判断される結果であった。

6. 考察

グラウト材の充填による業者施工での試験結果とPCMの充填による直接施工での試験結果とを比較すると次の傾向が確認された。

- 1)断面修復材および既設コンクリートを伝搬した弾性波の伝搬時間差法から透過弾性波速度を測定する場合、個々の橋梁で補修した材料や補修方法・工法、既設コンクリートによって透過弾性波速度は異なる。グラウト材を用いた業者施工の耳取橋では透過弾性波速度の平均値は4232m/sであったのに対して、PCMを用いた直営施工の築地橋では3372m/sとなり、860m/sの差があった。
- 2)各橋梁での既設コンクリートでの透過弾性波速度と補修部の透過弾性波速度とを比較すると、既設コンクリー

表-4 直営施工による橋梁での透過弾性波速度 (m/s) の測定結果 (朱書き: 未補修部)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A	3710	3435	3204	3382	3243	3446	3334	3248	3422	3497	3252	3476
B	3261	3226	3305	3571	3396	3364	3420	3240	3344	3213	3268	3462
C	3247	3366	3351	3273	3725	3551	3433	3329	3278	3210	3433	3327
D	3259	3314	3203	3229	3682	3285	3285	3252	3470	3653	3483	3507
E	3210	3356	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
F	3457	3435	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

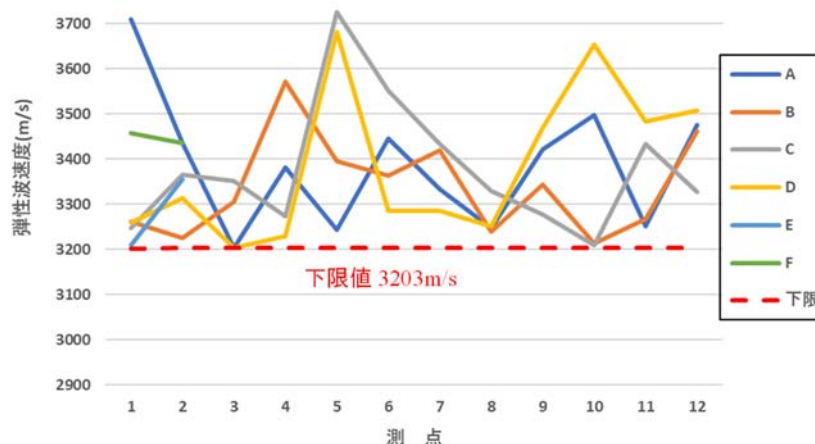


図-8 直営施工による橋梁での透過弾性波速度の測定結果

トでの透過弾性波速度の方が大きくなることが確認された。ただし、両者の差は1)に示した橋梁が異なることによる差よりも小さくなった。このことから、1)に示した橋梁が異なることによる差は、対象橋梁の既設コンクリートの品質の差を大きく反映していると推察される。

3)業者施工での試験結果および直接施工での試験結果ともに、平均値の5%の低下から設定する判定基準値を上回る結果であった。また、それぞれの未補修部（既設コンクリート）での測定結果との差は小さかった。このことから、断面修復材と既設コンクリートの接着状況に、空隙等の不具合部は存在していないと推察される。

以上の結果より、非破壊試験の一手法である衝撃弾性波法による試験結果は、品質管理における検査のための試験として有効な方法であると判断される。さらに、直営施工の品質管理としての検査を、業者施工での品質管理と同様の方法で管理基準値を設定して実施し、品質に問題はないと判断された。以上の結果から、今回試験を実施した直営施工の品質については、業者施工での品質と同様であり、品質の妥当性を確認することができたと考えられる。

7.まとめ

玉名市が独自に取り組んでいる直営施工の断面修復工（橋梁補修DIY）の検査を、業者施工に対する品質管理と同じ管理基準で実施することにより、直営施工による品質の妥当性を確認する取組について報告した。試験方

法として、非破壊試験の一手法である衝撃弾性波法により、透過弾性波速度を測定する方法を採用し、今回試験を実施した直営施工の品質には問題がないと結論付けた。また、直営施工に有効な品質管理方法を提案することができた。今後も、小規模橋梁等における断面修復工での非破壊試験による検証を積み重ねながら、本試験方法の有効性をさらに高めていきたいと考えている。また、本試験は、透明性と客観性を確保するために第三者機関（熊本県コンクリート診断士会）へ依頼して実施している。

現在のところ、コンクリート舗装の橋梁においては、玉名市では実装可能な状況である。今後は、表層にアスファルト舗装がある橋梁に対する断面修復の品質検査への拡大を図りたい。

参考文献

- 1) 微破壊・非破壊試験によるコンクリート構造物の強度測定要領（解説），国土交通省大臣官房技術調査課，p.p.1-16，2012.3
- 2) iTECS 法規格：試験 03 コンクリート内部の内部欠陥探査方法，一般社団法人 iTECS 技術協会，pp.1-5，2013.7
- 3) iTECS 法規格：試験 02 コンクリート部材厚さの試験方法，一般社団法人 iTECS 技術協会，p.1，2013.7
- 4) 熊本県土木工事施工管理基準（平成 31 年 3 月版），熊本県土木部土木技術管理課，https://www.pref.kumamoto.jp/kiji_1860.html