

橋脚耐震補強の鋼板巻立て工における水中モルタル充填確認方法の提案

新潟国道事務所 新潟維持出張所長 相村成一
 ○管理係長 池田明寛

1. はじめに

平成17年度から一般国道8号（新潟バイパス）に架かる新潟大橋において、「橋梁耐震補強3箇年プログラム」に基づき、橋脚の耐震補強に着手している。平成18年度は通水断面内のP4橋脚において河川内仮締切り及び現場溶接を不要とした機械式継ぎ手（かみ合わせ継ぎ手）を用いた水中鋼板巻立て工法による橋脚補強を実施した。

本施工上、特に課題となったのは不可視部分となる鋼板と既設コンクリート橋脚との間に充填する水中モルタルの品質・出来形確認であった。本稿は、その確認を「充填検知システム」及び「超音波測定法」によりその有効性を検証できたので報告するものである。

2. 概要

2.1 新潟大橋の概要

表-1 に新潟大橋の諸元を示す。

表-1 新潟大橋 現況諸元

| | |
|-------|--|
| 橋長 | 330m (3@50.4m×2連+25m) |
| 竣工年 | 上り線（下流側）：1977年（S52） 下り線（上流側）：1973年（S48） |
| 上部工形式 | 3径間連続鈹桁+3径間連続鈹桁+単純非合成鈹桁 |
| 下部工形式 | 小判型梁式橋脚（流水部橋脚4基×上下線=8基） |

2.2 かみ合わせ継ぎ手による鋼板巻立て工法の概要

本工法は、工場製作された補強鋼板を機械式継ぎ手（かみ合わせ継ぎ手）を用いて水中で接合し、鋼板と既設橋脚との隙間には、無収縮モルタルを充填して一体化を図るものである（図-1、写真-1）。

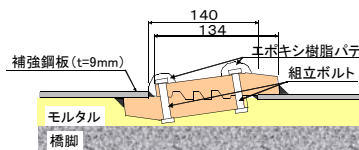


図-1 かみ合わせ継ぎ手構造(断面)



写真-1 かみ合わせ継ぎ手(断面)

また、鋼板組立に現場溶接が不要で流水部の施工に仮締切りを必要としないため、従来工法（現場溶接による鋼板補強、RC補強等）に対して工程短縮・省力化・コスト縮減（図-2）、また河川内環境への影響軽減等が図られる工法であり、NETIS登録（TH-980001）されている新技術である。

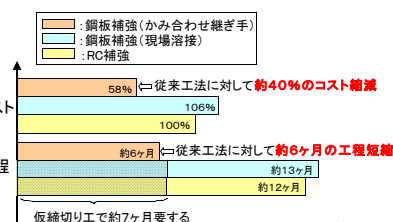


図-2 従来工法に対するコスト、工程の比較

2.3 施工手順（図-3）

- (1) 橋脚の上流側に補強鋼板を建て込む。補強鋼板と既設橋脚のかぶりを確保し、補強鋼板のズレ防止のために既設橋脚にアンカーボルトで固定する（図-3の3.）。
- (2) もう一方の側から補強鋼板を建て込み、機械式継ぎ手をかみ合わせて接合する。また、継ぎ手部は、ズレ防止のためボルトで締結する（図-3の3.）。
- (3) 橋脚と補強鋼板の隙間は、モルタル充填し橋脚と鋼板の一体化を図る（図-3の4.）。

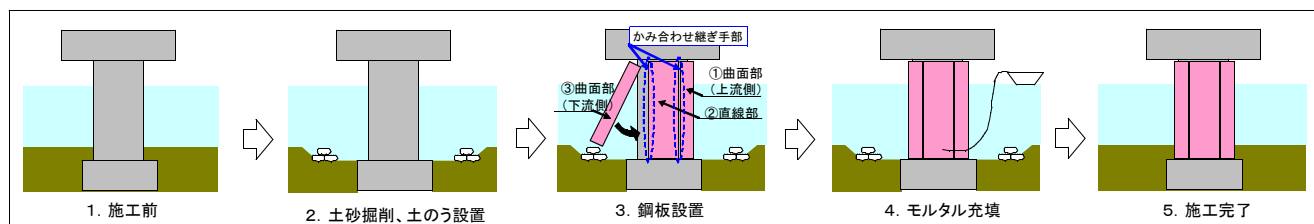


図-3 施工手順

3. 施工上の課題とその対応案

本施工上、特に課題となったのは前述したとおり、充填したモルタルの品質・出来形確認であった。

一般に水中不分離性モルタルは自己充填性及びセルフレベリング性を有するので、今回のような鋼板と橋脚躯体との狭い空間でも確実に充填できるという認識のもと、これまで不可視部分となるような箇所における充填状況の確認は実質行われてこなかった。

しかし、①本工法は施工実績のほとんどない新技術であるため、特に接合部等からモルタル漏洩の懸念があったこと、②新潟大橋の下を流れる信濃川は非常に透明度が悪く、かみ合わせ接合部を近接目視で確認することさえ非常に困難な現場条件であった。

そこで充填状況がリアルタイムに確認・記録できる「充填検知システム」及び充填し硬化後、鋼板とモルタルの剥離の有無を確認するために「超音波測定法」による測定手法により水中モルタルの施工管理を行うことを考えた。

4. 測定方法の概要

4.1 充填検知システム

本システムは、予めモルタル充填の確認が必要な箇所に充填状況を検知できるセンサーを取り付け（図-4）、充填状況がリアルタイムに確認・記録できるシステムである（写真-2）。測定原理は、周波数特性を検知してセンサーに接触した異種材料（空気、水、モルタル等）を検出するものである。充填判定測定画面では、空気の場合は赤、水は赤+黄、モルタルは赤+黄+緑を示す（図-5）。

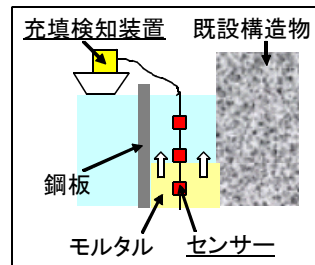


図-4 充填検知システム概要 (イメージ)



写真-2 上: 充填検知装置
下: センサー

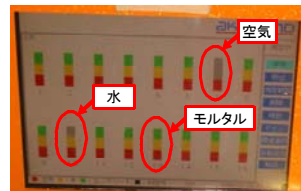


図-5 充填状況判定画面

4.2 超音波測定法

本測定手法は、鋼板表面にセンサーを当て、鋼板と内部のモルタルとの密着状況を確認できる測定方法（写真-3）で、一般に既設コンクリート構造物の調査点検等で広く用いられている。測定原理によれば、今回の調査の場合は、鋼板裏面の空隙の有無を検知すると、それぞれに応じた反射率が示されるものである（図-6）。



写真-3. 上: 超音波測定装置
下: センサー

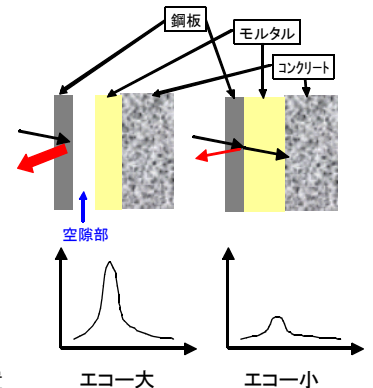


図-6 超音波反射エコーの模式図

4.2.1 超音波測定法の現場試験の必要性

超音波測定法の測定結果は反射率の大小をグラフ表示されるが、これにはバラツキを含んでいる。例えば鋼板とモルタルが密着しているような箇所を何点か測定すると全てが同じ数値を示すとは限らない。これは鋼板表面の凹凸や汚れ等が原因と考えられる。従って、剥離の有無を定量的に判定できる評価基準を作成するために、実物を模した供試体を用いて現場試験を行った。

4.2.2 モデル供試体による超音波測定の有効性確認

4.2.2.1 試験装置

図-7に試験装置の概要を示す。水槽内に、橋脚を模したコンクリートと実物と同じ厚さの鋼板（ $t=9\text{mm}$ ）を設置した。また、鋼板背面には空隙を模した中空のダミーを貼り付けた。

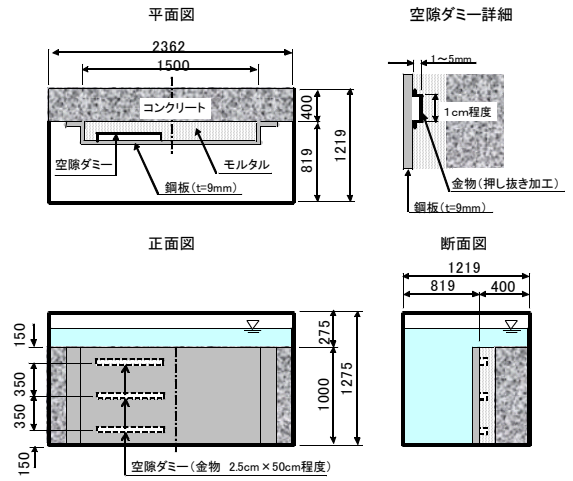


図-7 試験装置概要図

4.2.2.2 試験方法

図-8に示す測定ポイントで、充填完了直後（材令0日）及び材令4.5日後にモルタル充填部と空隙ダミー部で超音波測定を実施した。

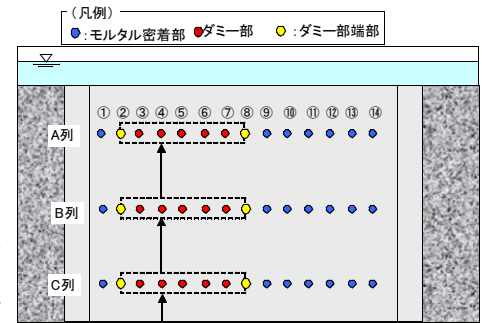


図-8 測定ポイント

4.2.2.3 評価方法

図-9にモルタル充填部で測定された反射率を示す。ここで、B1は鋼板とモルタル面との境界面での反射第1波、B2は反射第2波と考えられる。

そこで、超音波の測定原理からモルタル充填部と空隙ダミー部とのB2/B1値の相違を比較することによりモルタル充填状況（空隙の有無）を評価することにした。

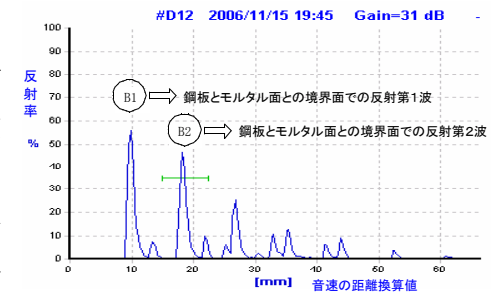


図-9 反射波の評価 (B2/B1)

4.2.2.4 測定結果

図-10に測定結果を示す。図-10より、①材令0日と材令4.5日のいずれの場合も、空隙ダミー部とモルタル充填部では平均反射率（B2/B1）が明確に相違していた。②空隙ダミー部とモルタル充填部との平均反射率を材令の違いで比較すると、材令が高いほど、反射率は低下する傾向にあった。

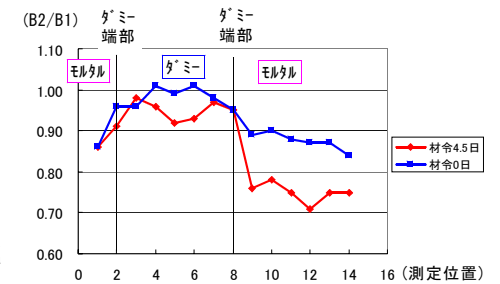


図-10 材令の相違による測定結果の比較

4.3 充填状況を定量評価する判定基準

表-2にモルタル充填部と空隙ダミー部のB2/B1の平均値と標準偏差を示す。また、図-11はモルタル充填部と空隙ダミー部の 3σ に収まる範囲をグラフ化したものである。図-11の■の範囲は鋼板とモルタルが密着していると評価される反射率を示しており、いわば合格反射率である。一方、■の範囲は鋼板の背面が空隙であると評価される反射率を示しており、不合格反射率である。なお、中央部の■の範囲は両者の可能性が重複する範囲であるため不確定範囲とした。この不確定範囲は今後、さらなる試験データを加える必要があると思われる。

表-2 モルタル充填部と空隙ダミー部におけるB2/B1の平均値と標準偏差

| | モルタル充填部 | 空隙ダミー部 |
|------------|---------|--------|
| 平均値(B2/B1) | 0.77 | 0.94 |
| 標準偏差σ | 0.0403 | 0.0406 |

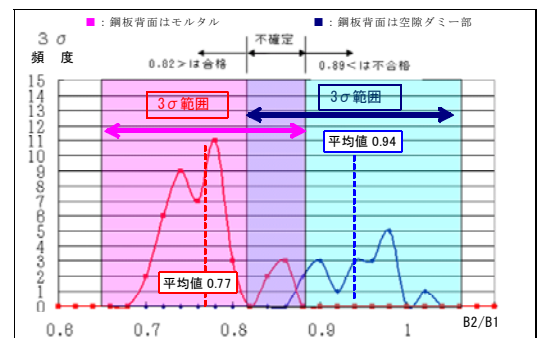


図-11 モルタル充填部と空隙ダミー部の 3σ の範囲

5. 実施工における充填確認の測定結果

5.1 充填検知システムの測定結果

センサーはガイドパイプに付けて図-12に示す位置で投入し、また図-13に示す位置で充填状況を測定した。図-14に投入レベル「+3900」「+4900」「+5800」の測定結果を示す。センサー8の反応の中で11:24:10に空気があることを示す赤が表示されているが、これはモルタル充填時間よりも大幅な遅れを示したので、一度引き上げセンサーの設置状況を確認したためである。なお、図-13に示す投入レベル以外の測定結果は正常に充填された判定を得られた。

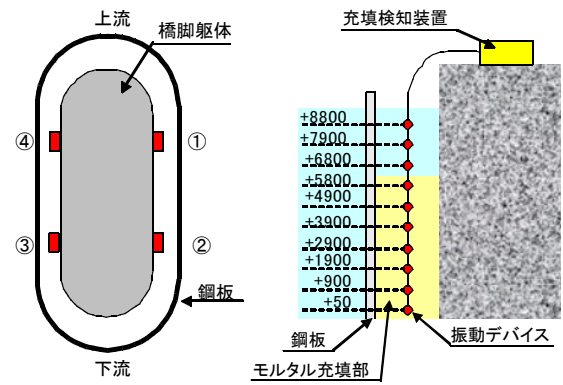


図-12 デバイス投入ポイント

図-13 デバイス投入レベル

凡例 ■:判定外 ■:空気 ■:水 ■:モルタル

| 日付 | 時刻 | +3900mm | | | | +4900mm | | | | +5800mm | | | |
|-----------|----------|---------|---|---|---|---------|---|---|---|---------|---|---|---|
| | | ① | ② | ③ | ④ | ① | ② | ③ | ④ | ① | ② | ③ | ④ |
| 2007/2/13 | 07:21:24 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| 2007/2/13 | 08:05:22 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| 2007/2/13 | 08:57:30 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| 2007/2/13 | 09:19:26 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| 2007/2/13 | 09:20:14 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| 2007/2/13 | 09:20:24 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| 2007/2/13 | 09:26:30 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| 2007/2/13 | 09:28:56 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| 2007/2/13 | 09:29:36 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| 2007/2/13 | 10:48:40 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| 2007/2/13 | 10:49:08 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| 2007/2/13 | 11:06:36 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| 2007/2/13 | 11:24:10 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| 2007/2/13 | 11:30:14 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| 2007/2/13 | 11:31:12 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| 2007/2/13 | 12:15:20 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| 2007/2/13 | 12:15:22 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| 2007/2/13 | 12:35:24 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| 2007/2/13 | 12:57:48 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |
| 2007/2/13 | 14:00:30 | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ | ■ |

図-14 充填検知システムによる測定結果(投入レベル+3900、+4900、+5800)

5.2 超音波測定法の測定結果

図-15に示す測点で超音波測定を行った。その結果を表-3に示す。測定点のかみ合わせ継ぎ手からのモルタル漏洩の可能性がある付近を中心に測定することとした。表-3からも分かる通り全ての測定点において合格基準値 ($0.82 > B2/B1$) を満たしていた。

6. 評価

6.1 充填検知システム

センサー取付状況の不具合により一部測定結果に測定不良の箇所があった。今後は測定不良を起こさないようにセンサーの取付方法を改良する余地があると思われる。それ以外は基本的にモルタル充填状況を適切に測定されたことから充填検知システムにより確認する手法は十分に有効であると評価される。

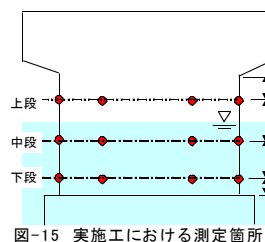
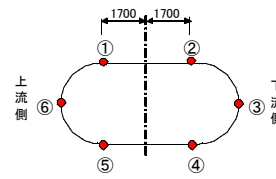


図-15 実施工における測定箇所

表-3 上段(気中部)、中段(水中部)、下段(水中部)の各測点での測定結果(B2/B1値)

| 測点 | B1 | B2 | B2/B1 |
|----|----|----|-------|
| | | | |

最大値: 0.73 最小値: 0.50

6.2 超音波測定法

図-11より $0.82 > B2/B1$ である場合、モルタルが十分に鋼板に密着していると判断されていることからすれば、今回の実施工で得られた $B2/B1$ 値が 0.73 以下であることは実施工におけるモルタル充填度は十分に高かったと評価される。従って、超音波測定法を用いて鋼板とモルタルの密着状況を確認する手法は十分に有効であると評価される。

7. まとめ

今回の一連の検討から水中不分離性モルタルを使用する場合の施工管理方法として、「充填検知システム」及び「超音波測定法」による確認方法が有効であることが分かった。今後、鋼板による橋脚耐震補強として新技術の「かみ合わせ継ぎ手」工法を行う場合、モルタル充填状況を「充填検知システム」及び「超音波測定法」により管理することにより適正な施工品質が確保され、トータルコスト削減が図られると思われる。