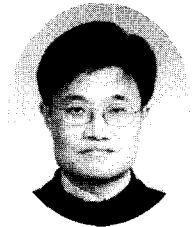


수중부 하부 구조의 보수 보강

- Examples for Underwater Repair and Strengthening of Bridge Substructures -



유동우*

교량 하부구조 특히 교각 및 기초의 경우는 지반 또는 수중에 묻혀 있기 때문에 손상을 발견하기도 어렵고 또한 손상의 보수 및 보강이 곤란한 경우가 많다. 하부구조의 손상은 지반의 마모, 침하, 측방유동토압, 하상세굴, 홍수류, 선박 및 유해물에 의한 충격, 지진 등의 여러 원인에 의하여 발생된다. 이러한 손상은 지표수 및 지하수 배제공, 성토공, 지반개량공, 단면보수공, 세굴 방지공, 내진보강공 등에 의하여 보수 및 보강이 행하여 진다. 본 고에서는 이러한 하부구조의 보수·보강공법 중 수중부에 실시되는 방법에 대하여 소개하고자 한다.

1. 수중부 하부구조의 보수

일반적으로 수중 보수공사는 많은 비용과 어려움이 따르므로 보수범위는 가능한 한 적게하고 작업은 간단하게 시행할 수 있도록 하며 보수방법은 접근방법에 따라 적절히 정하여야 한다. 또한 손상된 곳의 바탕처리에는 특수한 응용기술이 필요하며 보수 재료는 수중에서의 치기와 양생 두 가지 면에서 적합한 것을 선택하여야 한다. 대부분의 수지계 보수재료보다는 시멘트계가 수중 보수재료로서 적합하다.

1.1 손상부위의 바탕처리

보수작업전에는 손상부분을 상세히 점검하여 파손되거나 심하

게 균열이 발생된 콘크리트를 제거하여야 하며 심한 경우에는 철근을 절단하는 경우도 있다.

구조물과 보수재료의 양호한 부착성을 확보하기 위하여는 손상부위 제거가 필요한데 통상 좁은 면적의 표면처리의 경우는 와이어브러시 및 기타 적절한 제거공구 등이 사용되며, 그 외의 콘크리트의 제거는 다음과 같은 방법이 사용된다.

- ① 고압 제트수의 사용 : 고압제트수에 의한 콘크리트 절단은 수중 보수공사에서 가장 일반적으로 사용하는 방법 중 하나로서 이 방법은 대단히 높은 압력(200~1000 기압)의 고압제트수를 콘크리트 표면에 분사하여 콘크리트 골재 사이의 경화된 시멘트 페이스트를 제거한다.
- ② 쪼개기 방법 : 물, 공기, 팽창성 시멘트 등의 팽창압에 의하여 콘크리트를 쪼개는 것으로 수압으로 팽창하는 실린더 또는 팽창성 시멘트 페이스트 포대를 미리 천공한 구멍에 삽입하여 콘크리트가 갈라질 때까지 압력을 가하거나 시멘트의 팽창에 의하여 콘크리트를 분해한다.
- ③ 기계적 절단 : 수력식 다이아몬드커터, 밀폐형 수압시스템을 사용한 브레이커, Cardox시스템(압력 파쇄와 폭발에 의한 두가지 방법을 병용하는 것으로서 미리 정해진 간격으로 천공된 구멍에 압축탄산가스 카트리지를 넣고 단단히 매운후 각 카트리지에 충전된 소량의 기폭제를 전기적으로 폭발시켜 콘크리트를 파쇄) 등의 장비를 이용하여 콘크리트를 제거한다.

* 정회원, 시설안전기술공단 진단 1본부부장

이외에 thermic lance장비에 의한 고열절단, 폭약에 의한 쪼아내기 방법 등이 있으며 이때 필요한 경우 손상된 철근의 절단 및 교체이음 등이 실시된다.

1.2 구체의 균열보수

1.2.1 균열 주입

일반적으로 균열에 대한 수중 주입보수는 육상부에서 행하여지는 주입방법과 같은데 균열폭의 크기에 따라 다르나 통상 균열선을 따라 100mm~300mm의 간격으로 깊이 50mm의 주입구를 미리 천공한 후 고압제트수 등으로 균열부의 오염물질을 제거하며 <그림 1>과 같이 수중용 에폭시페터재로 균열을 매우고 주입 파이프는 그라우트가 새지 않도록 주입구에 고정시킨다. 균열폭에 따라 시멘트계 그라우트나 저점도의 용제를 사용하지 않는 수중용 에폭시수지가 주입에 사용된다.

통상 주입은 압력포트(pot)를 사용하여 쉽게 주입할 수 있는데 미리 혼합한 에폭시수지로 채운 압력포트를 주입구까지 크레인으로 운반하고 주입한다. 작은 면적의 보수에는 수동식 카트리리지 주입

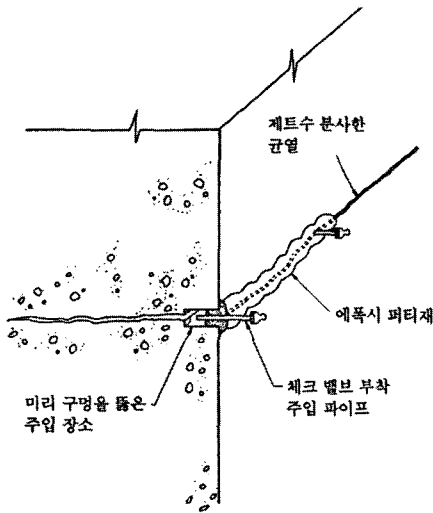


그림 1. 수중부 균열주입

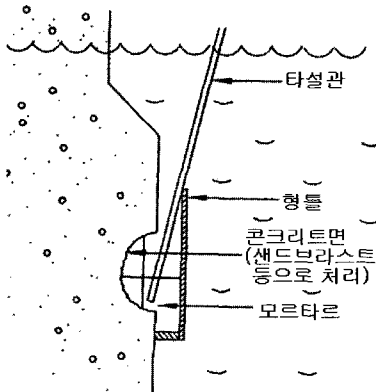


그림 2. 단면복구 개요도

구를 사용하는 것으로 충분하다. 주입은 가장 낮은 곳의 주입구로 부터 시작하여 다음 높은 위치의 주입구에서 유출되는 수지가 균일하고 물이 없는 상태로 되기까지 주입을 계속한다. 그리고 낮은 쪽의 주입구를 밀봉하고 다음 주입구로 이동 주입한다.

1.2.2 단면보수

수중부 교각에 발생된 비교적 소규모의 단면 손상부위는 단면 복구가 실시되는데 공사 개요는 <그림 2>와 같으며, 이때 적용되는 거푸집 및 보수재에는 다음과 같은 것들이 있다.

① 거푸집

수중 거푸집에 요구되는 성능은 여러 면에서 육상 거푸집과 다른데 가장 중요한 것은 수중에서 조립이 간단하고 기설 구조물의 여러가지 상태에 적용할 수 있도록 설계 및 조립단계에서 세심한 배려를 하여야 한다는 것이다. 통상 철재 거푸집이 사용되는 경우가 많으며 거푸집자체의 접합을 위한 seal외에 구체의 불규칙한 요철의 표면에 밀착시키기 위한 seal이 필요하다. 대개 수직면의 보수작업에는 <그림 3>과 같이 네오프렌(neopren)고무를 부착한 거푸집을 콘크리트에 록볼트 등을 이용하여 구조물에 단단히 고정시키는 방법이 사용된다.

② 수중 보수용 콘크리트

수중 보수용 콘크리트로는 불분리성 콘크리트, 프리팩트 콘크리트, 에폭시레진 콘크리트 등이 있다. 불분리성 콘크리트는 고도의 응집성이 있어 시멘트의 분리나 유출이 없으며 미리 준비된 거푸집내로 펌프로 부어넣으면 자유낙하하여 물과 치환되어 밀실한 덩어리로 일체화된다.

프리팩트 콘크리트 공법은 접근이 제한되거나 유속이 빨라 일반 콘크리트가 유실되는 수중 또는 조류(潮流)의 영향을 받는 작업에 적합한 것으로, 40mm이상의 굵은골재를 미리 설치한 거푸집에 배치한 후 유동성이 큰 시멘트와 모래를 이용한 그라우트를 거푸집 바닥으로부터 주입하여 굵은 골재 사이 틈의 물과 치환시키며 고정시키는 공법이다. 한편 프리팩트 콘크리트의 시멘트 그

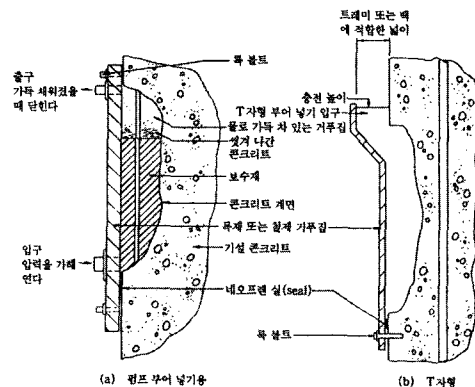


그림 3. 수중보수용 거푸집

라우트재 대신 수중용 에폭시 수지를 사용할 수도 있는데 에폭시 수지는 입자의 크기가 매우 작고(100μ 이하) 점성은 일반적으로 낮으나 저온에서 점도가 증가되며, 배합을 변화시켜 가용 제한시간을 자유로이 조절할 수 있으며 시멘트계의 프리팩트 콘크리트에 비하여 훨씬 작은 굵은골재를 사용할 수 있다.

2. 수중 보강공법

수중부 교각에 대한 보강공법으로는 최근 일본에서 시공된 수중부 교각의 내진 보강공법 사례를 소개하면 다음과 같다.

2.1 전단연결판(shear connector)에 의한 내진보강 공법

교량 하부공에 대한 내진 보강공법으로는 철근콘크리트와 강판 등의 라이닝이 주로 사용되는데 이 공법을 수중부의 구조물에 적용하는 경우, 코퍼뎀을 설치해 육상부와 같은 조건으로 시공을 하는 것이 일반적이다. 그러나 시공조건의 제약에 의하여 코퍼뎀을 설치할 수 없는 경우에는 수중 시공에서의 충분한 품질을 확보할 수 있는 재료와 함께 기존 구조물과 보강부재 사이의 일체성을 확보하는 것이 중요해 진다. 특히, 수중부에서는 콘크리트의 표면처리 후에 수중 미생물이 그 표면에 부착하기 쉬우므로 일체성에 대하여 배려가 필요하다. 한편 강판 라이닝공법에서 사용하는 충전재의 경우 수중시공에 적합한 것이 그리 많지 않다.

이 공법은 해상에 코퍼뎀을 설치하지 않고 수중시공을 하는 공법으로 내진 보강공사에서 실시한 기존 콘크리트와의 일체성이 도모된 전단연결판 매립공법 및 수중시공에 적합한 수중 불분리성 충전 모르타르를 적용한 것이다.

2.1.1 전단연결판

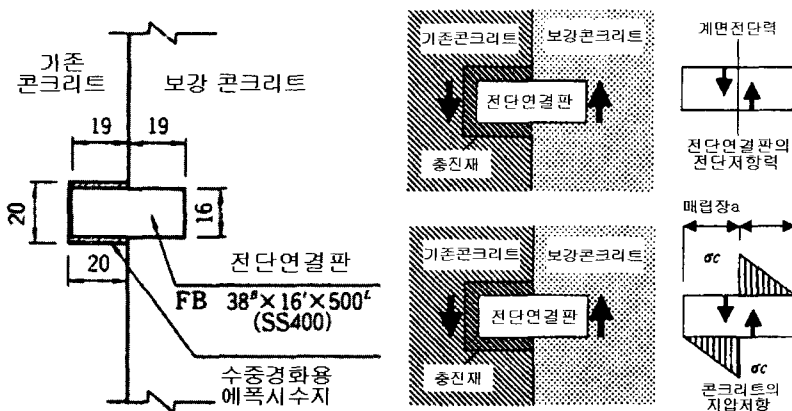


그림 4. 전단연결판의 상세 및 설계개념

이 공법은 내진상 약점이 되는 주철근 단락부의 휨보강을 위하여 <그림 4>와 같이 기존 콘크리트면에 수평방향으로 연속된 사각홈을 절삭하여 여기에 강제 전단연결판을 수중경화형 에폭시 수지를 이용해 매립하는 것으로, 기존 콘크리트와 보강부재와의 계면에 발생하는 차이를 방지하고 기계적으로 일체성을 확보하는 공법이다. 전단연결판은 휨철근 단락부인 보강부의 주철근이 부담해야 할 설계인장력이 기설 콘크리트와 보강부재와의 계면에 작용하는 전단력이라 생각하고 전단연결판을 연결근으로 설계한다.

2.1.2 수중 불분리성 충전 모르타르

강판 라이닝공법에서는 기존 교각과 보강강판과의 사이에 에폭시 수지와 무수축 모르타르를 충전하는 것이 일반적이다. 그러나 무수축 모르타르는 수중 불분리성이 없어 수중 시공에는 적합하지 않다. 이 공사의 경우는 수중 불분리성, 무수축성 및 경시변화가 작은 충전모르타르를 사용하였는데 시멘트의 자기수축 저감을 위하여 저열 포틀랜드시멘트가 사용되었다.

2.1.3 실시공

대상교각의 보강개요는 <그림 5>와 같으며 대상교각은 폭 20.0m, 높이 13.4m의 라멘교각으로서 기둥부는 직경 4.5m, 높이 10.4m의 원주이다.

시공은 교각 주위를 준설하여 작업대를 설치한 후 기존 교각의 표면처리를 수면상부는 워터제트, 수중부에 대해서는 샌드 블라스트를 실시하였다. 전단연결판은 <그림 5> 및 <사진 1>과 같이 휨 보강부에 배치하였다. 전단연결판은 수중부 교각에 폭 20mm, 깊이 20mm의 사각홈을 700mm 간격으로 교각의 원주 방향에 커터로 절삭한 후, 수중경화형의 에폭시 수지를 충전하고 폭 38mm, 두께 16mm의 강판(SS400)을 설치하였다. 그 다음 철근 및 거푸집을 조립하고 콘크리트를 타설하였다.

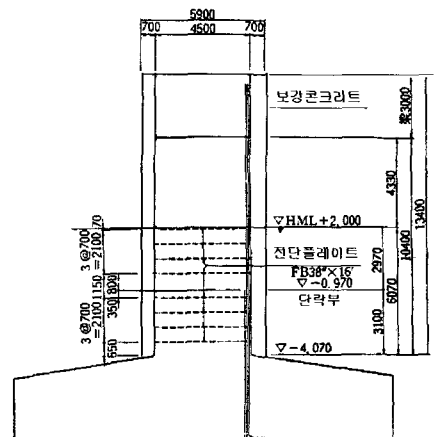


그림 5. 보강공사 개요

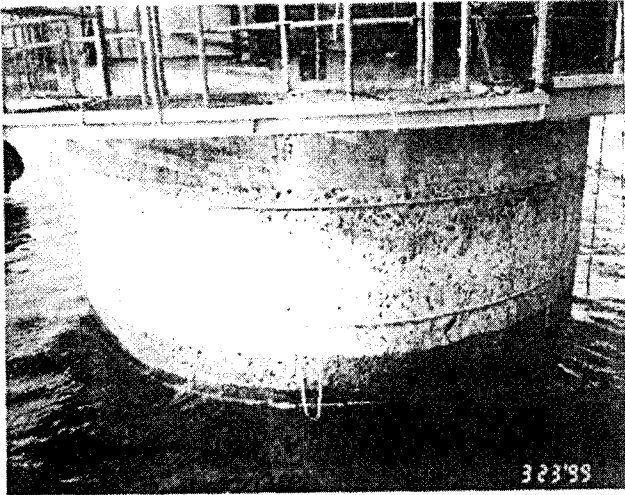


사진 1. 전단연결판 설치현황

콘크리트는 교각 저부에서 M.W.L. 까지를 수중 불분리성 콘크리트로, 대기중에 노출되는 빈도가 높은 M.W.L.~H.W.L.의 범위는 통상의 수중콘크리트, H.W.L.보다 상부는 일반 콘크리트를 적용하였다.

2.2 프리캐스트패널에 의한 교각의 수중 내진보강공법

이 보강공사 사례는 일본의 泊大橋에서 RC 라이닝공법 보다 시공성, 경제성이 있는 공법으로 검토되어 실시된 사례로서 대상 교량은 전 연장 1,118m의 PC단순 T형, 3경간연속 강박스커더, 3경간연속 강상판교로 이루어진 교량으로 보강공사의 대상 교각은 높이 22m의 중공단면이다.

2.2.1 공법개요

이 공법은 <그림 6>과 같이 보강 강판이 부착된 프리캐스트 패널에 의하여 기존 교각을 라이닝하고 그 사이에 보강철근 및 그라우트를 충전하여 기존 교각과 일체화시키는 공법이다. 이 공법의 수중부 교각에 대한 적용성은 다음과 같다.

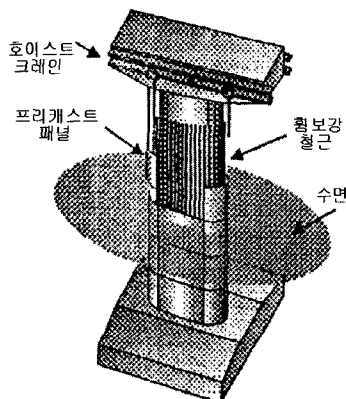


그림 6. 공법개요

- ① 프리캐스트 패널에 부착된 보강 강재는 맞물림식 기계이음으로 연결되어 현장에서의 용접작업이 불필요하고 수중시공에서도 확실한 보강효과가 얻어진다.
- ② 프리캐스트 패널에 부착된 강재는 내구성이 높은 고강도 모르타르에 의해 보호되어 있어 해중(海中)부에서의 내구성이 우수하다.
- ③ 기존 교각과 프리캐스트 패널 사이의 그라우트재는 수중부에서는 수중 불분리성 모르타르를 적용한다.
- ④ 프리캐스트 패널은 대규모의 가설장비 대신 소형 체인블록 등을 이용하여 용이하게 운반 및 설치가 가능하고 프리캐스트 패널의 조립 외의 일련의 작업은 고소작업차 등으로 가능하다.

2.2.2 프리캐스트 패널의 구성

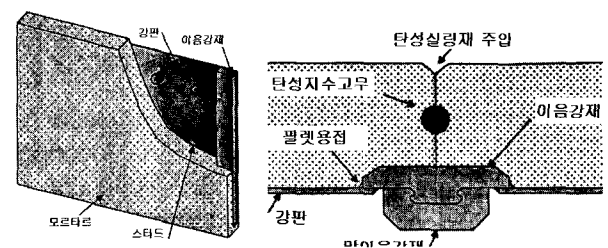
- ① 모르타르 : 보강 강재 및 이음 강재의 덮개 역할을 한다. 물시멘트비는 30%정도로 염분침투에 의한 강재의 부식에 대하여 고 내구성을 기대할 수 있다.
- ② 보강 강재 : 구조부재로 보강설계에 의해 사양을 결정하고 강판 또는 철근을 사용할 수 있다. 보강 강재를 강판으로 하는 경우 강판과 덮개 모르타르와의 일체화를 위하여 <그림 7(a)>과 같은 스티드 등을 설치한다.
- ③ 이음부 : 이음은 패널간을 접합함과 동시에 접합면에서 분리된 보강 강재를 연결하여 소정의 보강성능을 확보하는 기능을 하며 구조상세는 <그림 7(b)>와 같다.

2.2.3 휨 보강철근의 정착

휨 보강철근의 정착은 기초에 구멍을 뚫어 수중경화성 접착제로 하는데 구멍 면을 특수한 비트로 고르게 처리하여 수중에서의 정착을 확실하게 함으로써 천공 길이를 짧게 할 수 있다.

2.2.4 공사개요

보강공사시 패널의 분할은 제작, 운반, 설치의 시공성 및 경제성을 고려하여 교각단면의 원주방향으로 6분할, 높이 방향으로는 1단 당 1.5m, 14단으로 분할 시공하였다. 1피스의 중량은 평판 패널이 1.6t, 원호 패널이 1.8t이다.



(a) 강판타입의 프리캐스트 패널

(b) 이음구조

그림 7. 보강강재

시공순서는 <그림 8>과 같으며 수중부 패널은 우선 교각 주위 수면위에 작업대를 설치하고 여기서 패널을 ring형태로 조립한 후 이 것을 순차적으로 1링씩 수중부에 침설시켰다(사진 2). 조립 정도를 확인한 후 이음부의 지수(止水)를 위한 연직이음에는 <그림 7(b)>와 같이 패널 표면층에서 폴리우레탄계의 탄성실링재를 충전한다. 링의 설치위치 조정은 <그림 9>와 같다. 수면 상부는 교각 상부에 I형강의 레일 및 전동 체인블록을 설치하여 승강 시공하였다. 휨 보강철근 정착용 구멍의 천공(φ38mm, L=960mm)은 전동 코어드릴을 사용하였다. 본체는 대기중에 설치하고 로드를 연장하여 수중 천공하였으며 위치조정은 잠수부를 동원하였다. 천공 전에 수중 사량의 철근 탐사기에 의해 기초 상면의 배근상황을 조사하여 천공위치를 결정하였다.


또한 그라우트 충전압에 대한 패널의 변형을 방지하기 위하여 동바리공으로 변형방지 앵커를 기존 교각 구체의 덮개 콘크리트 내에 정착하였다. 수중에서의 앵커 설치 작업에는 에어(air)공구를 이용하고 공기중에서는 전동 공구를 사용하였다. 앵커 두부를 보호하기 위하여 앵커 설치 후 패널의 개구부를 수중부는 에폭시

페티, 수면 상부는 폴리머 시멘트모르타르로 폐합하였다.

기본적인 시공 사이클은 수면 상부에서 1단(높이 1.5m)에 2일, 수중부에서는 2단에 5일이 된다.

3. 세굴 방지공법

하천상에 위치하는 교량의 경우 하천의 형상변화 등에 의하여 하상세굴이 발생하게되고 이로 인하여 교량 하부구조 주변에서 발생하는 세굴은 교량의 안전성을 위협하게 된다. 이러한 기초 및 교각에 발생하는 세굴에 대한 방지 및 보수 공법에는 교각 주위 하상에 입경이 큰 재료나 사석과 같은 보호층을 부설하는 사석보호공, 돌망태공, 콘크리트 블록매트 부설공법, 테트라포트 보호공, Steel Box공법, Sheet Pile공법, 널말뚝 공법 등이 있다.

한편 기초의 지지력이 부족한 경우에는 추가말뚝 및 기초를 확대시키는 것으로 기초의 보강이 실시된다. 아래의 그림은 수중부 교각기초의 세굴 방지공법의 개요를 나타낸 것이다. 

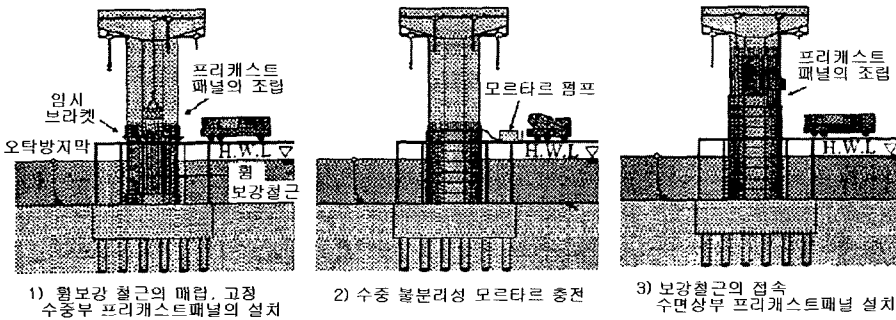


그림 8. 시공순서

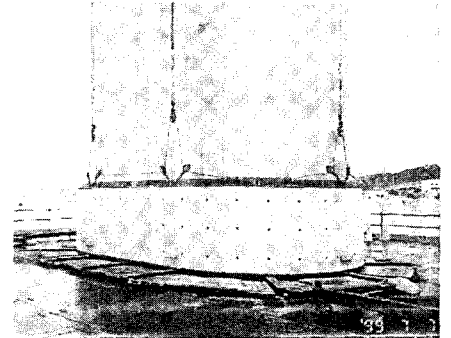


사진 2. Ring의 침설

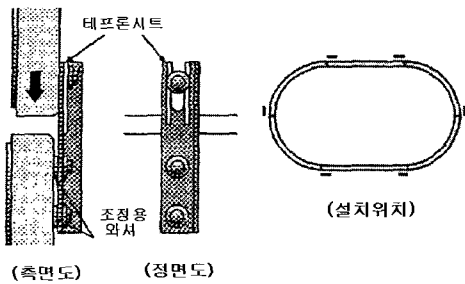


그림 9. Ring의 설치위치 조정

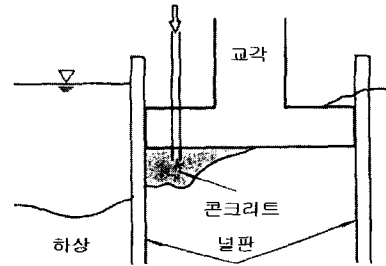


그림 10. 널판공법

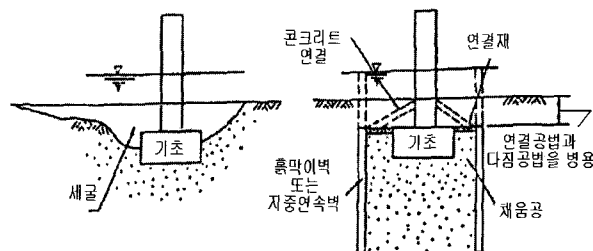


그림 11. 지중연속벽에 의한 기초보강 공법

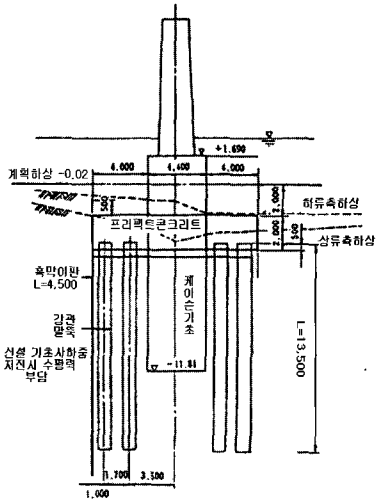


그림 12. 신설기초와 말뚝보강 공법

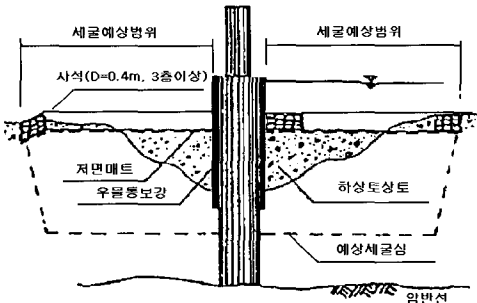


그림 13. 사석보호 공법

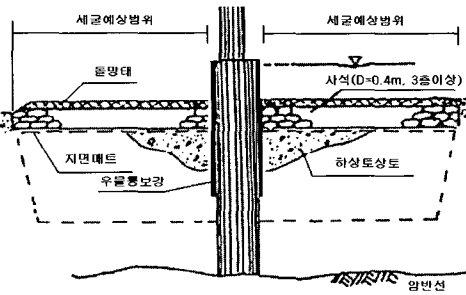


그림 14. 돌망태 공법

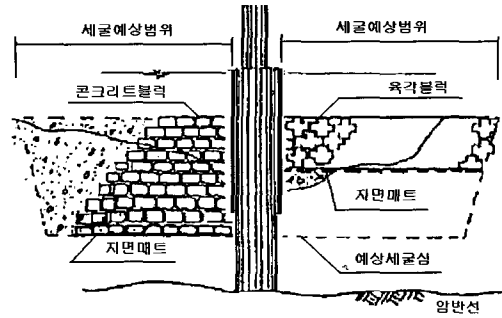


그림 15. 콘크리트블럭 공법

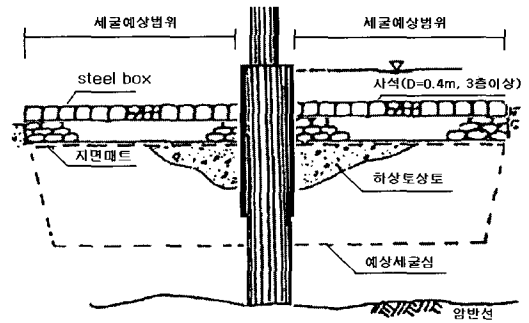


그림 16. Steel Box 공법

참고문헌

1. Kazuhiko Toda 외 1인, *プレキャストパネルによる橋脚の水中耐震補強工法*, 土木技術, 55卷 8号, 2000. 8, pp.58-64.
2. Tadayoji Kondou 외 2인, *水中部RC橋脚の耐震補強工事における技術開発*, 土木技術, 55卷 8号, 2000. 8, pp.99-106.
3. 정밀안전진단과정 교육교재, *시설안전기술공단*, 2000. 1, pp.254-255.
4. 교량구조물의 보수·보강공법 편람, *건설교통부*, 1995. 5. pp.610-622.
5. 콘크리트구조물의 진단과 보수, *도서출판 청양*, pp.226-262.