

교량 확폭시 RC 상판 접합부의 휨 피로파괴거동에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Flexural Fatigue Fracture Behavior of RC Slab of Widened Bridge

° 박 영 훈 ° 전 준 창 ° 조 병 완 ° 장 동 일
Park, Young Hoon Jeon, Jun Chang Jo, Byung Wan Chang, Dong Il

ABSTRACT

Most widened bridges have been constructed by the joining-construction method that makes new and existing bridge structurally single structure. However, joining-construction method has several problems in design and construction viewpoint. Therefore, this study is conducted in order to investigate structural behavior of widened RC slab and traffic-induced vibration of existing bridge during placing and curing of new concrete by the prototype flexural fatigue test. From the results of this study, It is shown that stress-concentration and slip occur between concrete and reinforcing rod at joint section but the reduction of load carrying capacity and of fatigue strength is negligible according to the traffic-induced vibration as well as the difference of construction method. A reasonable construction method for the bridge widening which takes into account the effects of the traffic-induced vibration and S-N curve for the widened bridge are also proposed

1. 서 론

산업의 발전과 그에 따른 물동량 증가로 개통 후 오랜시간이 경과한 교량은 기능상의 한계를 가짐으로서 교량으로서의 기본적인 기능이 충실히 수행되지 못하고 있는 실정이다. 특히 한 나라의 산업발전에 필수적인 도로망에서의 교량의 역할은 실로 중요하기에 이러한 교량의 기능상의 한계로 유발되는 경제적 손실은 적지 않은 실정이다. 이에 이러한 문제점들을 해결하기 위해서는 새로운 교량의 건설이나 기존 교량의 확폭공사가 요구되어지고 있다. 특히 한정된 예산에서 최대한의 효과를 기대할수 있는 기존교량의 확폭이 일반화되고 있으며 교통량이 적은 곳에서는 우회도로 대신 기설부 교량을 차량 우회도로로 이용하게 되면 막대한 우회도로 시공비를 절감할 수 있다. 그러나 확폭시공에 따라 발생하는 문제점들은 대부분이 기설부와 신설부를 일체구조로 접합함에 따라 발생하는 것으로 기설부와 신설부

교량 주형의 부등침하로 인한 단차가 발생할 수 있으며, 확폭교량 접합부는 콘크리트 타설시와 양생중에 반복침을 받게 되어 전체적인 강도 저하를 야기시킬 수 있을 뿐만 아니라 확폭시공시 인접지역을 통과하는 차량에 의해 발생하는 진동은 굳지 않는 콘크리트 강도와 철근과 콘크리트의 부착력에 악영향을 줄 수 있다.

이에 본 연구는 교량 확폭 시공시 기설부와 신설부 교량 접합부의 시공 방법별 영향, 차량공용 중 기설부에서 신설부로 전달되는 진동의 영향 및 기타 제반 문제점을 연구하기 위하여 정적 및 피로파괴시험을 수행하였으며 이로부터 합리적인 확폭시공 방법을 제시하기 위하여 실시하였다.

2. 시험계획

2.1 사용 재료

철근은 KS D 3504에 규정되어 있는 이형철근 H16(주철근용)과 H13(배력철근용)을 사용하였으며 콘크리트는 몹-시멘트비 45.2x, 슬럼프 12cm 로 하여 재령 28일 압축강도가 270 kg/cm² 이 되도록 배합설계하였다.

시멘트는 제 1종 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 골재는 한강에서 채취한 강모래, 강자

° 한양대학교 토목공학과 석사과정
° 한양대학교 토목공학과 박사과정
° 한양대학교 토목공학과 조교수
° 한양대학교 토목공학과 교수

갈로서 각각의 조립율과 비중은 표 2.1.1과 같다.

표 2.1.1 골재의 비중 및 조립율

	간골재	굵은골재
조립율	2.80	6.50
비중	2.60	2.56

한편, 콘크리트의 배합설계표는 표 2.1.2와 같으며, 무수축 콘크리트의 배합시는 표 2.1.2와 동일한 조건에 무수축재를 시멘트량의 10% 첨가하였다.

표 2.1.2 콘크리트의 배합설계표

굵은골재의 최대치수 (mm)	습윤수 (cm)	공기량 (%)	물-시멘트비 (w)	간골재율 (%)	단위량 (kg/m ³)			노습수계 (g/m ³)	
					물	시멘트	간골재		
25	12	3~5	45.2	44.0	178	394	769	997	790

2.2 시험체

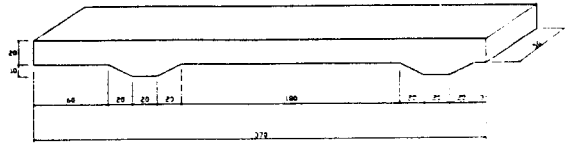
2.2.1 시험체 제원 결정 및 제작

본 연구를 위하여 제작한 시험체의 제원은 확폭교량의 특성을 최대한 반영하기 위하여 현재 정부 고속도로상에서 확폭시공중에 있거나 또는 확폭시공이 완료된 교량의 상부구조 제원(표 2.2.1)을 기초로 하였으며, 시험체의 설계는 기존 교량의 설계방법인 허용응력설계법에 따라 설계하였다.

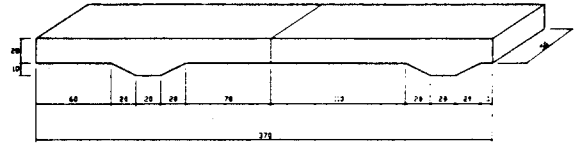
표 2.2.1 기확폭시공된 교량의 상부구조 제원

주형간격 (m)	상판두께 (cm)	주철근간격 (cm)		배력철근 간격 (cm)	
		상부	하부	상부	하부
2.4	20	H16×20	H16×10	H13×20	H16×10

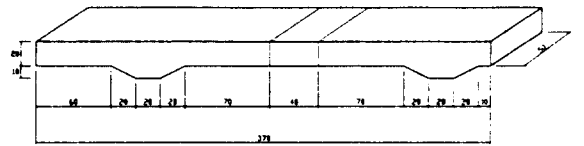
표 2.2.1의 제원과 주형이 있는 교량 상판 횡단면의 모멘트 영향선을 고려하여 시험체의 제원을 결정하였으며, 시험체의 제원 및 형상은 그림 2.2.1과 같다.



(a) 일체치기 시험체



(b) 직접접합 시험체



(c) 무수축접합 시험체

그림 2.2.1 시험체의 형상 및 제원

시험체의 배근도는 그림 2.2.2와 같고, 그림 2.2.1의 직접접합 시험체와 무수축 접합 시험체의 경우 접합면에서의 철근 겹이음 길이는 50cm로 하였다.

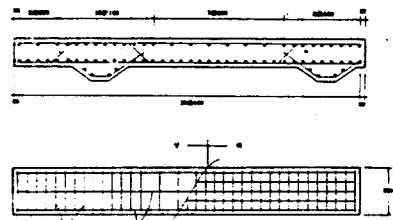


그림 2.2.2 배근도

응답측정용 게이지의 부착위치는 그림 2.2.3과 같으며, 그림에서 L1~L7은 하부철근에 부착한 변형게이지를, U1~U7은 상부철근에 부착한 변형게이지를 나타내며, D1~D4는 시험체의 변위를 측정하기 위한 변위측정기를 나타낸다.

- Steel Gauge
- Conc. Gauge
- △ Beam Transducer
- ▽ Rebar Gauge

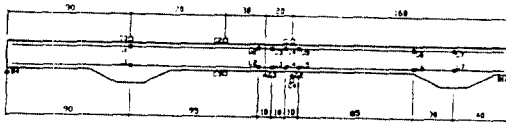


그림 2.2.3 게이지 부착위치

한편, 시험체 제작의 개략적인 흐름도는 그림 2.2.4와 같다.

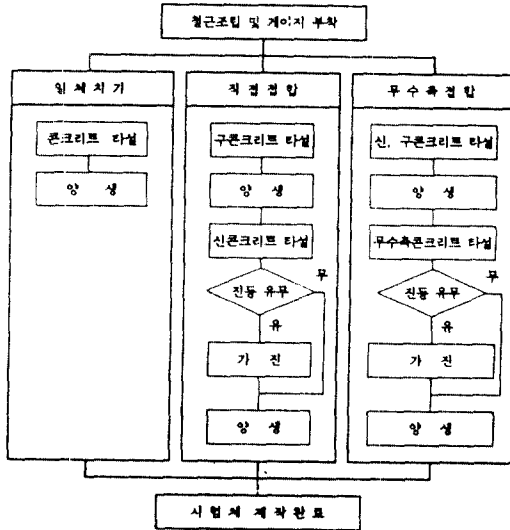


그림 2.2.4 시험체 제작과정

양생중 진동을 가하는 시험체에 대해서는 그림 2.2.5와 같은 가진 장치를 이용하여 가진하였다.

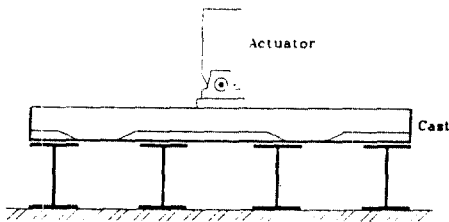


그림 2.2.5 가진장치

2.2.2 시험체 분류

본 연구에서는 시공방법별 접합부의 강도특성 및 시공중 교통처리 문제를 조사, 분석하기 위하여 시험체의 시험변수를 시공방법, 신콘크리트(직접접합 시험체) 또는 무수축 콘크리트(무수축 접합 시험체) 양생중 진동의 유무 및 피로하중의 크기로 정하였으며, 시험변수별 시험체의 분류는

표 2.2.2와 같다.

표 2.2.2 시험변수별 시험체 분류

시험체	시공방법		진동의 유무		피로하중의 크기	
	일체치기	직접접합	유	무	4Hz	10Hz
100	○	○	○	○		
200	○	○	○	○		
300	○	○	○	○		
400	○	○	○	○		
500	○	○	○	○		
600	○	○	○	○		
700	○	○	○	○		
800	○	○	○	○		
900	○	○	○	○		
1000	○	○	○	○		
1100	○	○	○	○		
1200	○	○	○	○		
1300	○	○	○	○		
1400	○	○	○	○		
1500	○	○	○	○		
1600	○	○	○	○		
1700	○	○	○	○		
1800	○	○	○	○		
1900	○	○	○	○		
2000	○	○	○	○		

○ : 정적파괴시험 △ : 가제 시험체
 ○ : 피로파괴시험 △ : 직결접합 시험체
 ○ : 주조제 시험체 △ : 무수축접합 시험체
 ○ : 일체치기 시험체

표 2.2.2의 시험변수중 시공방법에 대한 시험변수는 확폭교량의 접합시공시 일반적으로 선택되어지는 직접접합시공법과 무수축접합시공법으로 하였으며, 일체치기 시험체는 교량 상판의 원상태를 나타내는 것으로 확폭교량 상판과 일반교량 상판의 거동을 비교하기 위한 것이다. 양생중 진동의 유무는 시공시 또는 양생시에 기설부 교량을 통과하는 차량에 의해 발생하는 진동이 신설부 교량에 미치는 영향을 살펴보기 위한 것으로 가진 시험체에 대한 진동조건은 최근 수년간 한양대학교 토목공학과 구조연구실에서 고속도로 상에 위치한 교량을 대상으로 실측한 자료 및 일본도로공단시험소의 자료를 근거로 하여 진동수 4Hz, 진폭 1mm로 정하였으며, 진동유지시간은 콘크리트의 응결 및 경화시간을 고려한 20시간으로 정하였다.

2.3 실험방법

본 연구에서는 피로파괴 실험에 앞서서 시험체의 변수별 정적파괴강도를 알아 보고자 시험체의 정적파괴실험을 먼저 실시하였다. 정적파괴실험의 실험방법은 4점 휨 연속보시험으로서 본 시험에 대한 개략도는 그림 2.3.1과 같다.



그림 2.3.1 시험 개략도

시험시 하중재하속도는 100kgf/sec의 속도로 시험체가 파괴될 때까지 일정하게 재하하였다.

피로파괴 실험의 재하 및 지점 조건은 정적파괴 실험과 동일하며, 재하하중은 정적파괴실험시 측정된 정적극한강도의 80, 70 및 60%로 하였으며, 응력비(P_{min}/P_{max})는 0.1로 일정하게 하였다. 이를 표 2.3.1에 나타내었다.

표 2.3.1 시험체별 피로하중

시험체 번호	최대하중(P_{max})	최소하중(P_{min})
FW-80	19.2 ton	1.9 ton
FW-70	16.8 ton	1.7 ton
FW-60	14.4 ton	1.4 ton
FND-80	18.4 ton	1.8 ton
FND-70	16.1 ton	1.6 ton
FND-60	13.9 ton	1.4 ton
FVD-80	17.8 ton	1.8 ton
FVD-70	15.4 ton	1.5 ton
FVD-60	13.2 ton	1.3 ton
FVE-80	17.8 ton	1.8 ton
FVE-70	15.4 ton	1.5 ton
FVE-60	13.2 ton	1.3 ton
FVE-80	19.2 ton	1.9 ton
FVE-70	16.8 ton	1.7 ton
FVE-60	14.4 ton	1.4 ton

피로시험의 재하는 50ton용량의 피로시험기를 사용하였으며, 단진재하로 하였다. 재하시 반복회수 10회까지는 정적으로 재하하였으며, 그 이후 반복하중의 최소값과 최대값을 일정하게 유지하면서 시험체의 중앙부 변위량에 따라 1.5~2.0Hz의 속도로 재하하였다.

피로하중의 반복회수증가에 따른 변형률 변위 및 균열진전상황을 측정하기 위하여 표 2.3.2과 같은 반복회수에 대해서는 피로시험기를 정지시킨 후 정적으로 최대하중(P_{max})까지 하중을 1ton씩 증가시키면서 그때의 변형, 변위 및 균열진전상황을 측정하였다.

표 2.3.2 측정 반복회수

속 경	1	2	3	4	5	6	7	8
반복회수	1	10	100	1000	3000	10000	20000	30000
속 경	9	10	11	12	13	14	15	16
반복회수	30000	80000	100000	130000	200000	230000	300000	600000
속 경	17	18	19	20	21	22		
반복회수	300000	600000	700000	800000	900000	1000000		

3. 실험결과 분석 및 고찰

3.1 힘강도 실험

힘강도 실험에서 측정된 각 변수별 시험체의 정적강도는 표 3.1.1과 같이 나타났다.

표 3.1.1 시험체별 극한하중

시험체 번호	SW	SND	SVD	SNE	SVE
극한하중 (kg)	24000	22000	23000	24000	22000

일체치기 시험체가 교량의 원상태를 나타내는 것으로 보고 이를 직접접합 및 무수축접합 시험체와 비교해 보면 직접접합의 경우 92~96% 그리고 무수축접합의 경우 92~100%로 나타나 극한하중에 있어서 큰 차이를 나타내지는 않았다.

한편, 양생중의 진동유무에 따라서는 직접접합의 경우에는 무가진 시험체(SND, 23ton)가 가진 시험체(SVD, 22ton) 보다 약간 큰 극한하중을 나타내었고 무수축접합의 경우에는 가진 시험체(SVE, 24ton)가 무가진 시험체(SNE, 22ton) 보다 조금 크게 나타났지만 진동의 영향에 따른 극한하중의 변화는 거의 없는 것으로 나타났다.

3.2 피로파괴시험

3.2.1 시공방법별 영향

3.2.1.1 하중과 철근변형률 관계

피로파괴 시험시 하중 반복회수별로 측정된 철근 변형률로 부터 확폭교량의 접합시공 방법에 따른 영향을 검토하기 위하여 각각의 시공방법에 있어서 반복회수 증가에 따른 하부철근(L2, L3, L4, L5) 변형률의 최대값 변화량을 고찰하면 대체적으로 게이지 부착위치 L2에서는 직접접합과 무수축접합 시험체가 일체치기 시험체에 비해 큰 변형률을 나타내지만 게이지 부착위치 L3, L4, L5에서는 일체치기 시험체보다 작은 변형률을 나타내었으며 이를 그림 3.2.1에 나타내었다.

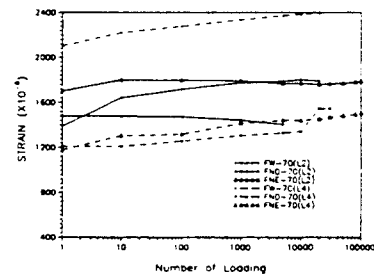


그림 3.2.1 시공 방법별 최대 변형률 변화 (L2, L4)

이러한 현상은 직접접합이나 무수축접합 시험체에 존재하는 접합면에서 하중반복회수 1회에 균열이 발생하여 응력집중 현상이 발생, 일체치기와는 달리 고른 응력 분포가 이루어지지 않기 때

문으로 사료된다.

3.2.1.2 시공방법별 S-N선도

피로파괴 시험을 통하여 측정된 시험체 파괴시의 피로하중 반복회수는 시공방법에 따라 표 3.2.1~표 3.2.3과 같이 나타났다.

표 3.2.1 일체치기 시험체 파괴시의 피로하중 반복회수

시험체 번호	결합 방법	피로하중크기(%)	피로하중 반복회수
FW-80	일체치기	80	38410
FW-70	일체치기	70	67050
FW-60	일체치기	60	556690

표 3.2.2 직접접합 시험체 파괴시의 피로하중 반복회수

시험체 번호	결합 방법	피로하중크기(%)	피로하중 반복회수
FND-80	직접접합	80	3080
FND-70	직접접합	70	47970
FND-60	직접접합	60	354650

표 3.2.3 무수축접합 시험체 파괴시의 피로하중 반복회수

시험체 번호	결합 방법	피로하중크기(%)	피로하중 반복회수
FNE-80	무수축접합	80	2800
FNE-70	무수축접합	70	114000
FNE-60	무수축접합	60	417800

표 3.2.1~표 3.2.3에 나타난 각 시험체의 파괴시의 피로하중 반복회수를 이용한 S-N선도는 그림 3.2.2와 같이 나타났으며 S-N 선도로 부터 추정한 피로한계 백만회에 대한 피로강도는 표 3.2.4에 나타내었다.

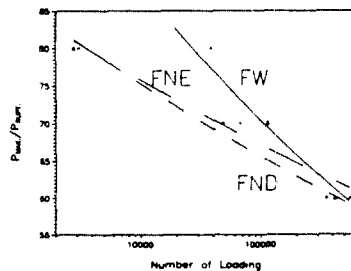


그림 3.2.2 시공방법별 S-N 선도

표 3.2.4 시험변수별 피로강도

시험변수	FW	FND	FNE
피로강도 (%)	55.3	56.3	59.0

표 3.2.1~3.2.3에서는 일체치기 시험체에 비해서는 다른 시험변수에 대한 시험체들이 다소간 피로파괴시의 하중반복회수가 작아지는 경향을 나타내고 있지만 표 3.2.4에 나타난 피로강도는 정적 극한 강도의 55.3~59.0%의 범위에 있어 일체치기 시험체의 55.3%와 거의 비슷한 수치를 나타내고 있고 확폭교량 상판의 피로하중에 대한 내력은 일반교량의 상판과 거의 비슷한 수준으로 접합시공에 따른 차이가 없는 것으로 분석된다.

3.2.2 진동의 영향

3.2.2.1 하중과 철근변형률의 관계

교량확폭시 직접접합과 무수축접합의 시공방법에 따른 진동의 영향을 검토함에 있어서 대표적으로 시편 FND-70과 시편 FVD-70을 비교하면 반복회수 증가에 따른 하부철근(L2, L3, L4, L5) 변형률의 최대값 변화량에서 게이지 부착위치 L2에서는 시편 FVD-70에서의 변형률이 크게 나타났으나 진동의 영향을 받은 게이지 부착위치 L3, L4, L5에서는 FND-70 시편에서의 변형률이 크게 나타났다. 이러한 현상은 철근과 콘크리트 사이의 슬립 현상이 발생하기 때문에 나타나는 현상으로 관찰된다.

한편 무수축접합에 있어서의 진동유무에 따른 변형률의 차이를 분석해 보면 그림 3.2.3과 같이 그 값의 차이가 거의 없어 진동에 의한 영향은 거의 없는 것으로 분석된다.

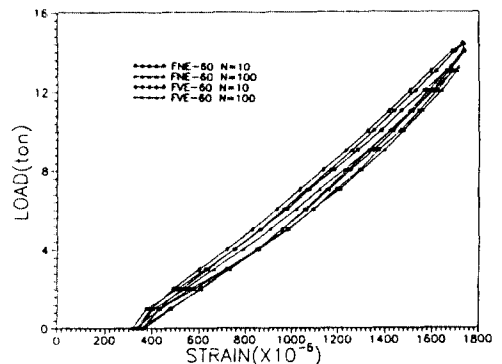


그림 3.2.3 무수축접합 시험체의 진동에 따른 영향

3.2.2.2 진동의 유무에 따른 S-N 선도

피로파괴 시험을 통하여 측정된 시험체 파괴시의 피로하중 반복회수는 진동의 영향에 따라 표 3.2.4과 같이 측정되었다.

표 3.2.4 직접접합, 무수축접합시험체 파괴시의 피로하중 반복회수

시험체 번호	접합 방법	피로하중크기(%)	피로하중 반복회수
FVD-80	직접접합	80	20030
FVD-70	직접접합	70	135400
FVD-60	직접접합	60	634030
FVE-80	무수축접합	80	250
FVE-70	무수축접합	70	8700
FVE-60	무수축접합	60	147390

표 3.2.4의 결과를 토대로 작성한 S-N 선도는 그림 3.2.4과 같다.

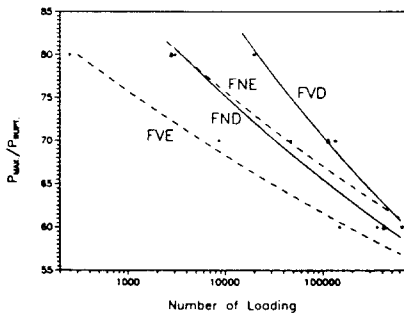


그림 3.2.4 S-N 선도

그림 3.2.4을 토대로 피로한계 백만회에 대한 피로강도를 표 3.2.5에 나타내었다.

표 3.2.5 시험변수별 피로강도

시험 변수	FVD	FND	FVE	FNE
피로강도(%)	57.8	56.3	54.4	59.0

4. 결론

확폭교량 상판 접합부의 피로거동을 조사하기 위하여 피로파괴시험을 실시한 결과, 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

1) 일체치기 시험체에 비해 다른 시험변수에 대

한 시험체들이 대체로 피로파괴시의 하중반복 회수가 작아지는 경향이 있으나, 피로한계 백만회에 대한 피로강도는 정적 극한강도의 약 54.4~59.0%의 범위로 일체치기 시험체의 55.3%와 거의 비슷한 수준을 나타내고 있어 확폭교량의 상판 접합부는 피로하중에 대해 일반 교량 상판정도의 내력은 확보하고 있음을 알 수 있다.

- 2) 교량확폭시공시 우회도로를 신설치 않고 기설부 교량으로 차량을 통행시키면서 시공하는 경우에 기설부 교량을 통행하는 차량에 의해 유발되는 진동이 전체적인 구조 거동상에 미치는 영향을 조사한 결과, 진동의 영향이 크지 않는 것으로 판단되며, 양생중 가해진 진동조건(4Hz, 1mm)을 고려해 볼때 공용하중에 의해 발생하는 확폭교량 상판의 진폭이 1mm이내인 단경간의 콘크리트교의 교량확폭시공은 우회도로를 신설치 않고도 기설부 교량으로 차량을 통행시키면서 시공이 가능할 것으로 판단된다.
- 3) 접합면이 존재하는 시험체의 경우(직접접합, 무수축접합) 접합면 부근의 하부철근에서 다소의 응력집중현상을 나타내지만, 접합부에서의 변위가 일체치기 시험체에 비해 작고 철근의 응력도 전체적으로는 일체치기 시험체와 큰 차이를 나타내지는 않아 교량 확폭에 따른 전체적인 강도 저하는 없었다.

감사의 글

본 연구는 1993년도 한국도로공사의 연구비 지원으로 이루어졌으며, 이에 사의를 표합니다.

5. 참고문헌

- 1) Allen J.H., Carrato, J.L. and McHale P.F., "Guide for Widening Highway Bridges," ACI Structural Journal, Title No. 89-S45, pp. 451-466, 1992.
- 2) Furr H.L. and Fouad F.H., "Effect of Moving Traffic on Fresh Concrete During Bridge-Deck Widening," Transportation Research Record 860, pp. 28-36, 1990.
- 3) Soto M.H., "Some Considerations in Widening and Rehabilitation of Bridge," pp. 56-63.
- 4) 藤田信一, 角 昌隆, 高橋幸三, "橋梁擴幅時の打繼に關する試驗," 日本道路公團試驗所, pp. 103-112, Nov. 1981.
- 5) 藤田信一, 角 昌隆, 高橋幸三, "橋梁擴幅時の打繼に關する試驗(第2報)," 日本道路公團試驗所, pp. 86-95, Nov. 1982.
- 6) 前川靜男, 沖野俊廣, "エポキシ樹脂による新コンクリートの接着に關する研究," 土木試驗所月報, No. 48, pp. 1-6, Aug. 1968.