

교량 확폭시 RC 상판 접합부의 휨강도에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Flexural Strength of Construction Joints of RC Slabs at Widened Bridges

* 배인환
Bae, In Hoan

** 심종성
Sim, Jongsung

*** 장동일
Chang, Dong Il

ABSTRACT

In widening of existing bridges, construction joints between old and new parts of concrete slabs are subjected to repeated traffic loads during placing and curing of concrete. Therefore, the main focus of this paper is given to examine several construction methods of bridge widening.

As a result, the occurrence of cracks in vibrating specimen is faster than non-vibrating one, but the difference between flexural strength and ultimate moment was negligible. Also, it shows the same result in other construction method, say direct and non-shrinkage joint specimen.

1. 서론

최근 교통량의 증가와 차량의 대형화로 구간 및 시간대에 따른 교통정체가 발생하여 확폭공사가 계획·시공되고 있으나, 확폭공사를 주요 간선도로에서 실시할 경우 장시간 동안 차량의 완전통제는 제반 여건상 불가능하므로 현재 차선의 차량통행하에서 시공하는 것이 요구된다. 그러나 교량에 있어서 확폭부에 거더를 신설하여 상판을 잇는 시공방법에 의해 확폭공사를 실시하는 경우에는 기존부를 통과하는 차량의 영향에 의해 기존부와 확폭부 사이의 거더에 부등처짐으로 인한 단차가 발생하며, 기존상판과 확폭부의 이음부에 타설시와 양생중에 반복힘을 받게 된다.

또한, 기존의 연구결과들에 따르면 확폭 시공시 인접지역을 통과하는 차량에 의해 발생하는 진동은 굳지 않은 콘크리트의 강도를 저하시키는 원인이 될 뿐만 아니라,

기존교량에 신교량을 맞대어 접합하고 신교량의 등바리를 제거함으로써 발생하는 상호간의 응력전달에서의 문제점과 서로 다른 재령 차이에 따른 건조수축 및 크리이프차에 의한 추가응력부담, 접합부의 부착강도 저하 등이 발생한다고 알려져 있다.

따라서 본 연구에서는 교량 확폭 시공시 진동 및 기설부와 접합부의 시공방법에 따른 영향을 조사하기 위해 휨강도 시험을 통하여 하중에 따른 각 시험체의 균열폭, 균열하중 및 균열발달상황과 철근의 변형, 콘크리트의 변형 및 시험체의 변위를 측정하고, 이 때 시험변수로는 진동의 유무, 접합형식(일체치기, 직접접합, 무수축콘크리트 접합), 접합면 처리방법(무처리, 접착제 도포, breaking후 접착제 도포)이고, 정적시험으로 한정하였다.

또한 범용 구조해석 패키지 프로그램인 ADINA를 사용하여 구조해석을 실시하였으며, 재료의 합리적 구성방정식을 도출하여 하중의 증가에 따른 처짐, 변형율, 응력 및 균열의 발달상황 등에 대한 시험치와의 비교, 고찰을 실시하였다.

*한양대학교 산업과학연구소 연구원

** 한양대학교 토목공학과 조교수

*** 한양대학교 토목공학과 교수

2. 시험체 설계

2.1 시험체의 설정

시험체의 크기는 현재 확폭하고 있거나 확폭된 교량의 제원을 조사하여 결정하였다. 조사된 확폭교량 상판 단면자료에서 거더간격은 2.5m, 슬래브 두께는 0.20~0.25m, 주철근은 상부 H16@200, 하부 H13@100, 배력철근은 상부 H13@200, 하부 H13@100으로 나타났다. 따라서, 본 시험의 시험체의 길이는 거더간격을 2.5m로 할 때, $2.5m \times 0.578 \approx 1.4m$ 에서 양쪽의 지점여유를 10cm씩 두어 1.6m로 결정하였으며, 슬래브의 두께가 200~250mm이므로 시험체의 두께를 200mm로 하였다. 슬래브의 폭은 두께의 3배 이상이 될 때 슬래브의 거동을 한다고 보고, 시험체의 폭을 700mm로 하였다. 한편, 시험체의 설계는 기존 교량의 설계방법인 W.S.D 설계법에 의해 설계, 검토하였다.

2.2 사용 재료

철근은 KS D 3504에 규정되어 있는 이형 철근 H16(주철근용)과 H13(배력철근용)을 사용하였으며, 콘크리트 배합시 시멘트는 보통 1종 포틀랜드 시멘트를 사용하였다. 골재는 한강에서 채취한 강모래, 강자갈을 사용하였으며, 시멘트, 잔골재 및 굵은 골재의 비중 및 조립율은 표 2.1과 같다.

표 2.1 비중 및 조립율

	시멘트	잔골재	굵은골재
비 중	3.15	2.60	2.65
조립 율	-	2.80	6.50

콘크리트의 배합설계는 현장조건과 동일하게 하였으며, 배합설계조건 및 배합설계표는 각각 표 2.2, 표 2.3과 같다.

표 2.2 콘크리트 배합설계조건

굵은골재의 대치수 (mm)	슬럼프 (cm)	혼화강도 (kg/cm^2)	공기량 (%)	혼화재료의 종류
25	12	270	3~5	AE 감수제

표 2.3 콘크리트 배합설계표

물시멘트비 (x)	잔골재율 (%)	시멘트 (kg/m^3)	물 (kg/m^3)	잔골재 (kg/m^3)	굵은골재 (kg/m^3)	혼화제 (kg/m^3)
45.2	44.0	394	178	769	997	0.79

2.3 시험체 분류

휨강도시험에서는 시공방법별(일체치기, 직접접합, 무수축접합) 그리고 가진유무(가진, 무가진)에 따라 시험체를 각각 제작하여 시험하였으며, 각 시험요인별 시험체의 분류는 다음 표 2.4와 같다.

표 2.4 시험체의 분류

시험체 구분	시 험 요 인									
	결 합 방 법				결합면 처리		양생용 가진		제 하 방 법	
	일체 치기	직접 접합	무수 축 접합	breaking 접합	접착제	무처리	유	무	선하중	점 하중
BW-1,2	○					○		○	○1	○2
BW-3,4	○					○		○	4점 하중	
BND-1,2		○				○		○	○1	○2
BND-3,4		○				○		○	4점 하중	
BNE-1,2			○			○		○		
BNE-3,4			○			○		○		
BND B-1		○		○	○			○	○	
BND B-2		○		○	○			○		○
BVD-1,2		○			○		○		○1	○2
BVD-3,4		○			○		○		4점 하중	
BVE-1,2			○			○		○	○	
BVE-3,4			○		○		○			○

2.4 철근 배근도

W.S.D 설계법에 의한 구조계산 결과 주철근은 H16으로 상부 20cm, 하부는 10cm 간격으로 배근하였고, 배력철근은 H13으로 상부는 20cm, 하부는 10cm로 배근하였다. 이때 시험체의 배근도는 그림 2.1과 같다.

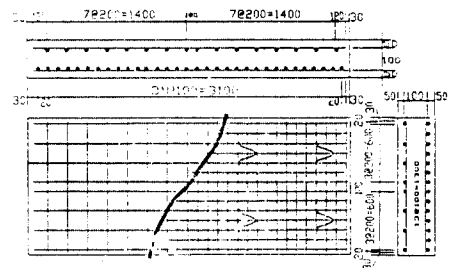


그림 2.1 배근도 (일체치기)

3. 시험체 제작

교량확폭 시공시 차량에 의해 발생하는 진동은 굳지 않은 콘크리트에 영향을 미쳐 강도의 저하를 초래한다. 본 연구에서는 시험체 제작시 진동을 가하여 양생하는 경우와 진동이 없는 상태에서 양생하는 경우로 구분하여 제작하였으며, 이때 가진 공시체의 제작방법은 그림 3.1과 같다.

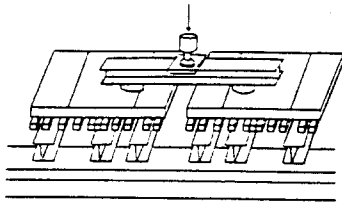


그림 3.1 가진공시체 제작방법

양생중 진동을 가하는 공시체 제작순서는 ① 제작장치상의 거푸집에 구 콘크리트를 배치하고, ② 구콘크리트에 피로시험기의 하중을 그림 3.1과 같이 두 점에서 재하하여 동시에 두개의 시편을 가진하고, ③ 중앙보 상의 구콘크리트를 진폭 1mm, 진동수 4Hz로 진동시킨다. ④ 진동을 계속하면서 신 콘크리트를 타설하고 타설 종료 후에도 20시간 같은 진동을 계속한다. ⑤ 진동을 멈춘 후 28일 이후에 시편을 concrete cutter기를 사용하여 4등분하여 실험체를 제작하였다.

4. 실험 방법

휨강도 시험에서 적용되는 하중재하방법은 선하중과 집중하중으로 선정배경은 다음과 같다. DB-24하중의 재하길이가 1.8m이고, 차량간 근접길이가 1.2m이므로 1.4m 시편내에 4점 휨실험이 불가함으로 3점 휨 선하중이 적용되었고, 집중하중은 자동차 바퀴의 영향을 살펴보기 위해 일본 도로교 시방서에서 추천하는 바퀴면적 20×50cm로부터 1:2.5의 비율로 축소하여 10×25cm를 결정하였다. 이는 지압파괴가 방지되는 최소면적보다 큰 값이다.

그림 4.1과 같이 시험체 번호 ①, ②인 경우는 선하중이, 시험체 번호 ③, ④인 경우는 집중하중이 적용되었다. 가력하중은 1ton씩 증가시켰고, 20ton 이후에는 500kg씩 파괴하중까지 증가시켰다. 하중재하 방법별 시험방법은 그림 4.2, 게이지 부착위치는 그림 4.3과 같다.

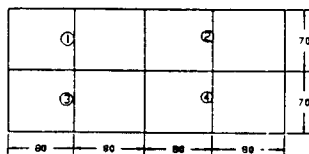
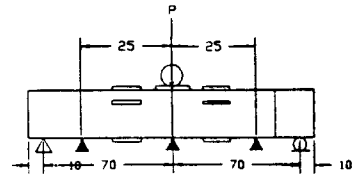
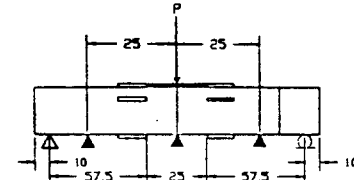


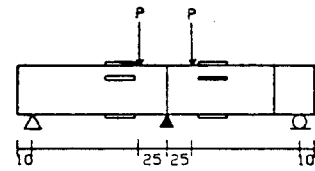
그림 4.1 시험체 번호



(a) 선하중



(b) 집중하중



(c) 4점 선하중

그림 4.2 하중재하방법

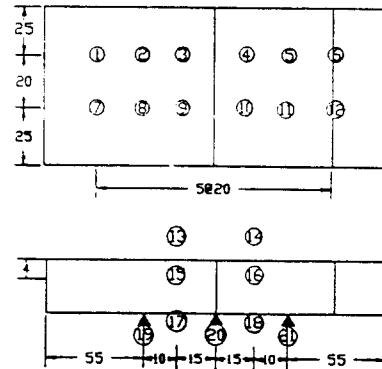


그림 4.3 게이지 부착위치 및 번호

5. 실험 결과 및 고찰

5.1 시험체의 휨거동

휨시험에서 얻어진 측정치와 이론치를 비교, 분석한 결과는 표 5.1과 같다.

표 5.1을 살펴보면 선하중이 재하된 시험체의 처짐은 8.9~17.3mm(평균 13.78mm)로 집중하중을 재하시킨 시험체보다 14% 크며 신·구콘크리트 중 강도가 작은 곳에서 큰 변위를 보였으며, 집중하중이 재하된 시험체의 처짐은 8.38~16.2mm(평균 12.1mm)로, 초기 하중에서 시험체의 처짐은 무가진

표 5.1 실험치와 이론치의 비교

가력 방법	시험체 번호	변위 (mm)	균열하중 (ton)		파괴하중 (ton)	
			이론치	실험치	이론치	실험치
선하중	BW-1	15.27	3.10	4.5	31.1	28.6
	BNE-1	8.96		3.0		21.0
	BNE-2	10.78		2.0		28.3
	BND-1	17.30		3.0		28.5
	BND-B1	16.39		2.0		26.0
	BVD-1	12.50		2.0		27.0
	BVE-1	14.15		2.0		29.8
BVE-2	14.94	1.5	30.0			
집중하중	BW-2	15.80	3.39	3.0	34.1	35.5
	BND-2	12.40		3.3		25.5
	BNE-3	11.23		1.0		24.5
	BNE-4	11.65		3.0		26.8
	BND-B2	8.38		2.0		24.5
	BVD-2	16.20		2.0		30.6
	BVE-3	12.45		2.0		30.0
BVE-4	8.96	2.0	28.5			
4점재하	BW-3	5.70	2.40	-	24.4	23.0
	BW-4	8.23		5.0		21.0
	BND-3	4.27		7.0		23.0
	BND-4	6.43		-		22.0
	BVD-3	5.61		-		24.0
	BVD-4	5.52		-		26.0

시험체보다 가진시험체가 더 크게 나타났다. 접합면의 휨 파괴상태를 관찰하기 위해 실시된 4점 선하중재하에서 전단균열이 발생되기 전까지의 변위는 4.27~8.23mm(평균 5.96mm)로, 유사한 파괴하중을 나타내고 있는 선하중이나 집중하중 재하시의 처짐량보다 2배 이상 작게 나타났다. 이때 하중-처짐 곡선의 일례는 그림 5.1과 같다.

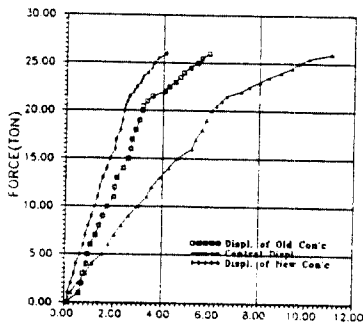


그림 5.1 하중-처짐 곡선(BVD-1)

한편, 무가진 시험체와 가진 시험체의 파괴하중은 가력방법에 따라 큰 차이는 보이고 있지 않으나 가진 시험체가 무가진 시험체보다 다소 큰 값을 나타내고 있다. 선하중인 경우, 일체치기의 파괴하중은 28.6ton, 무가진 시험체의 평균 파괴하중은 26ton, 가진 시험체의 평균 파괴하중은 28.9ton으로 가진 시험체와 일체치기 시험

체의 파괴하중은 유사하게 나왔으며, 이 값은 예상 파괴하중인 31.1ton보다 각각 8%, 16% 및 7% 작은 값이다. 또한 집중하중인 경우, 일체치기는 35.5ton, 무가진 시험체의 평균 파괴하중은 25.3ton, 가진 시험체의 평균 파괴하중은 27.1ton으로 일체치기는 예상 파괴하중인 34.1ton보다 4% 큰 값을 보였고 무가진 시험체와 가진 시험체는 각각 26%, 21% 작게 나타났다. 따라서 본 연구에서는 가진 시험체가 무가진 시험체의 파괴하중보다 7.1~11.1% 큰 값을 나타내었는데, 이는 콘크리트의 응결과 경화시작시간 동안 가진하여 다짐효과를 크게한 것으로 사료된다. 또한 파괴면은 신·구 콘크리트 및 무수축 콘크리트 중 강도가 작은 곳에서 나타났다.

또한 파괴형식은 4점 휨시험인 경우 전단에 의해 파괴되었다. 이는 전단스팬비(a/d)가 2.8이므로 초기 휨균열에서 전단으로 발달하여 파괴되었고, Cutting면이나 다른 한쪽면에서는 겹이음 길이(50cm)보다 적은 정착길이(30cm)로 인해 하부철근에 할렬균열이 보였다. 그리고 선하중과 집중하중 하서는 휨지배를 보이고 있다.

4점 재하에서의 파괴하중값은 전단균열이 발생하기 전의 값이며 변위의 값은 시험체 중심의 처짐기로부터 얻은 것이다. 한편, 휨강도 시험에서 가력방법에 따른 각 하중별 철근 및 콘크리트의 변형은 다음 표 5.2와 표 5.3과 같다.

표 5.2 철근의 변형(×10⁻⁶)

가력 방법	시험체	하중 (ton)				
		1	3	5	10	15
선하중	BW	22	68	151	654	1139
	BND	4	25	65	315	909
	BNE	12	68	186	580	1131
	BND-B	3	10	28	106	271
	BVD	7	23	52	324	580
	BVE	13	104	153	512	910
집중하중	BW	15	47	103	569	1190
	BND	36	159	285	569	1254
	BNE	22	43	73	302	677
	BND-B	1	6	29	284	700
	BVD	83	129	171	489	958
	BVE	8	77	202	580	1148
4점 하중	BW	10	6	61	486	997
	BND	18	44	74	405	835
	BVD	16	29	53	156	830

표 5.3 콘크리트의 변형(×10⁻⁶)

가 력 방 법	시험체	하 중 (ton)				
		1	3	5	10	15
선 하 중	BW	7	66	127	378	589
	BND	16	69	144	350	574
	BNE	22	71	124	322	583
	BND-B	10	22	92	303	536
	BVD	15	62	109	372	628
	BVE	10	57	121	349	551
집중하중	BW	15	63	100	202	334
	BND	21	60	124	314	521
	BNE	24	54	94	227	439
	BND-B	27	97	174	476	754
	BVD	36	72	107	247	477
	BVE	24	56	100	370	552
4점 하중	BW	-	-	-	-	-
	BND	33	54	100	281	555
	BVD	35	77	106	244	487

5.2 균열발달상황

균열발생하중은 표 5.1로부터 선하중일 경우, 가진 시험체가 1.5~2ton, 무가진 시험체가 2~3ton으로 양생중 가진 시험체가 적었으며, 무가진 시험체의 평균 균열발생 하중은 2.5ton으로 일체치기보다 80% 작은 값을 나타내었다. 또한 집중하중인 경우, 무가진 시험체의 균열 발생하중은 1~3.3 ton, 가진 시험체가 2ton으로 역시 무가진 시험체가 가진 시험체 보다 큰 균열강도를 보였으며, 무가진 시험체의 평균 균열발생 하중은 2.3ton으로 일체치기보다 30% 작은 균열하중을 보였다. 또한 무수축 콘크리트와 보통 콘크리트사이의 균열발생하중에는 큰 차이가 없었다.

이음부 처리 방법에서는 접착제를 도포한 시험체는 약간 큰 강도를 보였으며 Breaking과 접착제를 도포한 시험체는 평균 균열강도보다 약간 작은 값을 나타내었는데 이는 Breaking 과정에서 발생한 균열로 초기 균열강도가 작게 나타난 것으로 사료된다. 그리고 휨 시험체에 대한 균열발달상황 및 파괴양상의 대표적인 예는 그림 5.2와 같다.

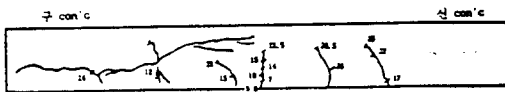


그림 5.2 균열발달상황 (BVD-1)

선하중 재하인 경우에는 양생중 가진 시험체가 무가진 시험체보다 적은 균열하중을 보였고, 무수축 콘크리트와 보통 콘크리트

사이의 균열발생하중에는 큰 차이가 없었다. 또한 균열의 폭은 0.04~0.4mm로 나타났으며, 이음부 처리방법에서 접착제의 효과는 미미하였다.

집중하중의 경우는 무가진 시험체가 가진 시험체보다 큰 균열강도를 보였고, 이음부 처리방법에서는 무수축 콘크리트가 보통 콘크리트보다 강도개선에 효과가 있는 것으로 판단된다. 또한 균열의 폭은 0.04~0.45 mm로 나타났으며 접착제의 효과는 미미한 것으로 나타났다.

6. 구조 해석

범용 구조해석 패키지 프로그램인 ADINA를 통한 수치해석시 시험체별 파괴하중까지의 하중 증가에 따른 각종 응답 중에서 콘크리트의 비선형적 거동을 총체적으로 파악할 수 있는 처짐을 중점적으로 고찰하였으며, 콘크리트와 철근의 변형율과 응력도 함께 비교, 고찰하였다. 일체치기(BW)와 직접접합(BD), 무수축 접합(BE)인 경우에 대한 하중-처짐관계의 수치해석 결과는 그림 6.1과 같다.

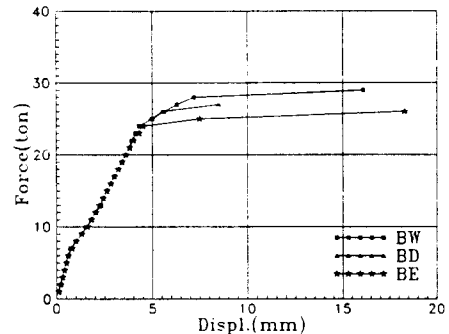


그림 6.1 하중-처짐 관계

파괴하중 가까이까지는 세 시험체가 같은 곡선을 따라 처짐이 발생하지만 파괴하중에 이르면서 달라지게 되는데 이는 콘크리트의 비선형성이 증대되면서 각 시험체를 구성하고 있는 콘크리트의 압축강도가 서로 다른데 따른 영향이 나타나기 때문이다. 이로 인하여 파괴하중은 28ton, 26ton, 24ton으로 조금씩 감소하고 있다. 한편, 세 곡선 공히 7ton과 24ton에서 기울기가 급히 변하는데 이는 콘크리트의 균열 및 철근의 항복으로 인한 비선형적 거동을 나타내는 것이다. 그림 6.2에는 일체치기 시험체에 대한

하중-처짐, 하중-변형율의 관계를 나타내었다.

하중-처짐에 대한 실험치와 수치해를 비교하면 수치해의 기울기는 실험치의 기울기보다 다소 크게 나타남을 알 수 있고, 파괴 하중도 실험치와 수치해석간에 다소의 차이가 발생하는데 이는 재료 모델링의 이상화 가정 등에 의한 것으로 생각되지만 대체로 실험치와 잘 부합되고 있다고 판단된다. 반면에 하중-철근변형율은 그 기울기가 거의 같다. 한편 세 종류의 시험체 모두 약 7ton에서 콘크리트의 균열 발생, 약 24ton에서 철근의 항복, 약 27ton에서 콘크리트의 압축파괴가 일어나고 있음을 알 수 있다.

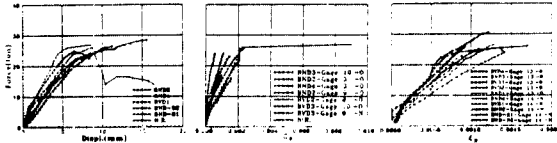


그림 6.2 하중-처짐, 변형율 관계(직접접합)

7. 결 론

1) 양생중 진동을 받는 시험체는 이음부의 부착이 약해져서 일체치기, 무가진 시험체보다 휨균열이 발생하기 쉬우나 휨내력 및 전단내력에의 저하는 없고 오히려 극한 모멘트는 일체치기와 큰 차이를 보이지 않았다.

2) 이음부의 처리방법, 즉 일체치기, 직접접합, 무수축접합에 의한 차이는 미소하였고 극한하중은 가진시험체인 경우 일체치기, 무수축접합, 직접접합순으로 나타났다.

3) 접합형식에서 무수축접합과 직접접합의 차이는 미소하였고, 또한 정적시험에서 가진에 의한 내하력의 저하는 나타나지 않았고 오히려 강도를 증진시킨 것으로 나타났다. 그러나 접합면에서의 균열은 교량의 사용성과 유지관리면에서 상당한 문제점을 야기시키기 때문에 이에 대한 연구가 필요하다고 사료된다.

4) 하중의 증가에 따른 처짐 및 변형율,

응력의 관계를 ADINA를 통한 수치해석 결과와 비교해 본 결과, 수치해석의 결과가 실험치와 거의 일치하였으며 이로부터 본 실험은 내용 및 방법에 있어서 타당함을 확인할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 1992년도 한국도로공사의 연구비 지원으로 이루어졌으며 도로연구소장님 및 배두병 실장님, 정수형 선임연구원께 감사를 드립니다.

8. 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) Jofriet J.C. and McNiece G.M., "Finite Element Analysis of Reinforced Concrete Slabs," Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 97, No. ST3, March 1971.

3) Soto M.H., "Some Considerations in Widening and Rehabilitation of Bridge," pp. 56-63.

4) Suidan M.T. and Schnobrich W.C., "Finite Element Analysis of Reinforced Concrete," Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 99, No. ST10, October 1973.

5) 藤田信一, 角昌降, 高橋幸三, "橋梁擴幅時の打繼に關する試驗," 日本道路公園試驗所, pp. 103-112, Nov. 1981.

6) 藤田信一, 角昌降, 高橋幸三, "橋梁擴幅時の打繼に關する試驗(第2報)," 日本道路公園試驗所, pp. 86-95, Nov. 1982.

7) 後藤祐司, 猪熊康夫, "橋梁擴幅工事におけるコンクリートのクリープ・乾燥收縮の影響に關する研究," 日本道路公園試驗所, pp. 38-50, Nov. 1984.

8) 高木秀貴, 岡田治憲, "道路橋の鐵筋コンクリート床版補強工法について," 土木試驗所月報, No. 259, pp. 1-11, Dec. 1974.

9) 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.