



탄성받침을 이용한 교량의 연속화 공법



박 종 진*



정 진 환**

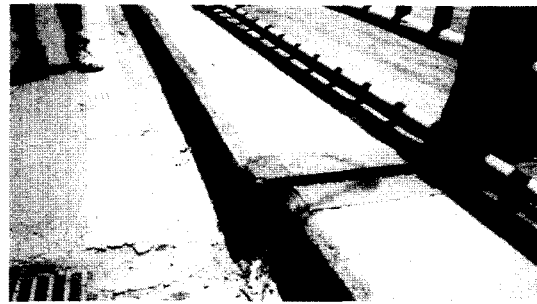


신 수 봉***

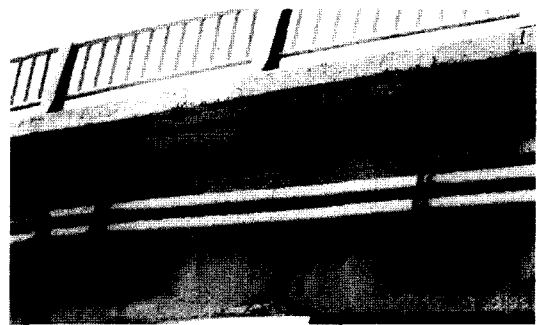
1. 서 론

교량의 신축장치는 차량하중 및 온도변화 등에 의한 구조물의 수평변위와 회전변위를 흡수하며 노면의 평면성을 유지시켜 차량주행의 안정을 도모하는 장치이다. 그러나, 신축장치는 차량이 장치상부를 통과할 때 발생하는 충격하중의 영향으로 그림 1과 같이 자주 손상되는 부분이다. 신축장치의 손상은 차량의 주행성을 저하시키며, 차량 통과시 진동과 소음을 발생시켜 주위환경에도 악영향을 끼친다. 특히 손상된 신축장치에서의 누수는 지점의 손상을 초래하며, 구조물 전체의 거동에 영향을 미친다. 손상된 신축장치에 대한 보수는 차량통행의 통제가 없이는 불가능하기 때문에 잦은 보수는 차량통행에 지장을 미친다. 따라서 신축장치는 교량 구조물에 있어서 가장 취약하며 유지관리상 어려움이 따르는 부분이다.

신교량을 건설할 경우, 구조적 장점을 가지면서 신축장치의 수를 줄일 수 있는 연속교량이 많이 건설되고 있지만, 기존 단순교량의 신축장치를 제거



(a) 상부손상



(b) 하부손상

그림 1 손상된 신축장치

* 정희원 · 동아대학교 토목공학과 BK21 Post-Doc.

** 정희원 · 부산대학교 토목공학과, 교수

** 정희원 · 동아대학교 토목공학과, 조교수

할 수 있는 기술은 부족하였다. 최근, 탄성받침의 사용이 증가함에 따라 탄성받침을 이용한 교량의 연속화가 가능하게 되었으며 외국에서도 적용사례가 증가하고 있다. 또한, 기존의 단순교를 연속교로 구조를 변화시킬 경우 신축장치의 수를 줄일 뿐 아니라, 이러한 구조전환은 효과적인 보수보강 방법으로도 널리 알려져 있다. 단순교를 연속교로 구조전환할 때, 교량의 지지조건을 hinge and roller 에서 수평과 수직방향의 강성을 가지는 탄성지점 (elastic support)으로 바꾸어야 한다. 지점의 수평탄성력은 지진하중으로 인한 수평력을 전 지점으로 분산시키며, 수직탄성력은 연속교량의 지점에서 발생하는 부모멘트를 줄여주며, 활하중 재하시 받침의 반력을 조정하는 역할을 한다. 본문에서는 교량의 연속화공법에 대하여 간략히 소개한다.

2. 교량연속화의 전반

기존 단순교의 연속화가 가능한지는 아래조건에 의하여 결정된다.

- 1) 연결되는 단순보 경간의 길이와 상부구조물의 형식이 같을 경우
- 2) 연결되는 구조물의 평면선형이 직선구간일 경우
- 3) 보의 중심선이 일치할 경우
- 4) 연속화 후 지반의 액상화 위험이 없을 경우

기존의 단순교가 위 기준에 의하여 연속화가 가능하다고 판단되면, 교량의 연속화는 그림 2와 같이 시공된다. 교량의 상판 또는 보를 연결하여 연속화 시키며, 탄성받침을 사용하여 연속화 이후의 반력을 전 지점에 분산시킨다. 연속화 이후 수평변위가 탄성지점의 허용변위를 상회하면 최단부의 지점은 롤러(roller) 지점을 사용하여도 무방하다.

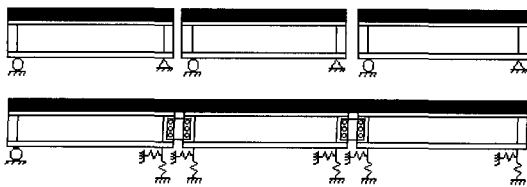
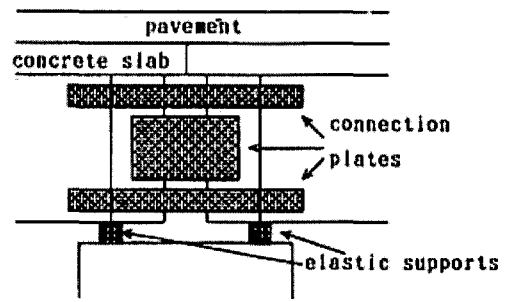
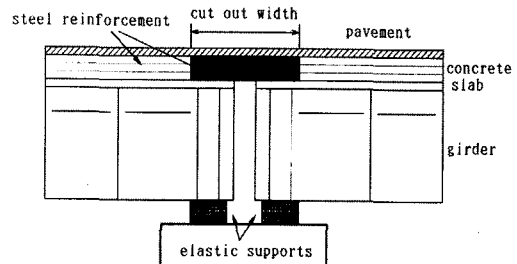


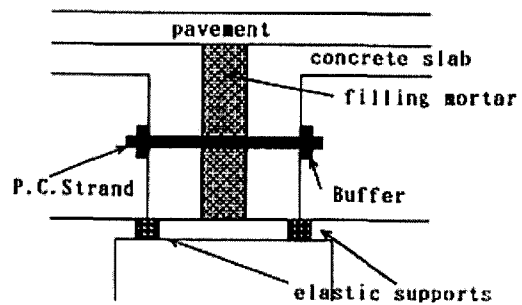
그림 2 교량의 연속화



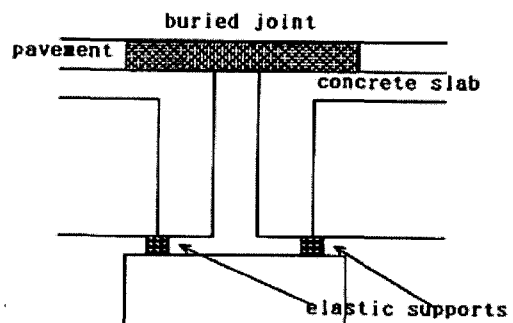
(a) 강구조교량 보의 연속화



(b) 상판의 연속화



(c) PC 교량 보의 연속화



(d) Buried joint

그림 3 연속화 공법

표 1 연결부의 내력전달항목

연속화 공법	강구조 보의 연속화	상판의 연속화	PC보의 연속화	Buried joint
연결위치	강구조보의 복부	콘크리트 상판	PC보 단부의 가로보	포장
수직력 (모멘트) 전달여부	전달	일부전달 (무시가능)	일부전달 (무시가능)	전달하지 않음
수평력 전달여부	전달	전달	전달	전달하지 않음

일반적으로 사용되는 단순교의 연속화 공법은 그림 3에 보여진 것과 같이 4가지가 있다. 그림 3 (a), (b) 및 (c)에 보여진 연속화 공법은 구조적 강성을 가지는 보 또는 상판을 연결하는 방법이며, 그림 3 (d)에 보여진 방법은 구조적 강성을 가지지 않은 포장을 연결하는 방법이다. 상판 또는 보를 연결할 경우, 연결부는 휨모멘트와 수평력을 인접하는 경간으로 전달시키며, 그림 3 (d)와 같이 포장만 연결할 경우는 구조물의 내력을 인접하는 경간으로 전달시키지 않는다. 연결부위 및 연결부가 받는 내력을 표 1에서 간단히 표시하였다.

PC보를 연속화할 경우, 인접하는 보 사이를 모르타르로 채운 후 강봉을 이용하여 가로보를 연결시킨다. 강봉의 단부에 연성의 buffer를 사용하기 때문에 보의 회전강성은 작아지며 휨모멘트를 전달하지 못하게 된다. 연결부의 상세는 참고문헌 1~5에 설명되어 있다

그리고 강구조 교량의 연속은 다음의 순서대로 시공된다.

- 1) 단순교의 받침을 탄성받침으로 교환한다.
- 2) 인접한 경간의 보를 plate를 이용하여 연결시킨다.
- 3) 수평 및 수직보강재를 이용하여 연결부 주위를 보강한다.

콘크리트 교량의 연속은 아래의 순서대로 시공된다.

- 1) 단순보의 받침을 탄성받침으로 교환한다.
- 2) 인접한 경간의 가로보를 strand로 연결시킨다.

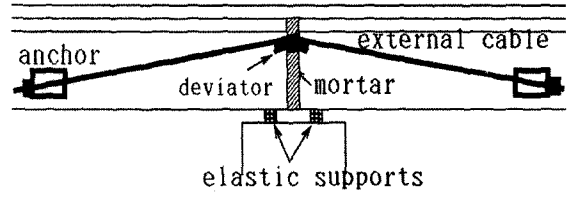
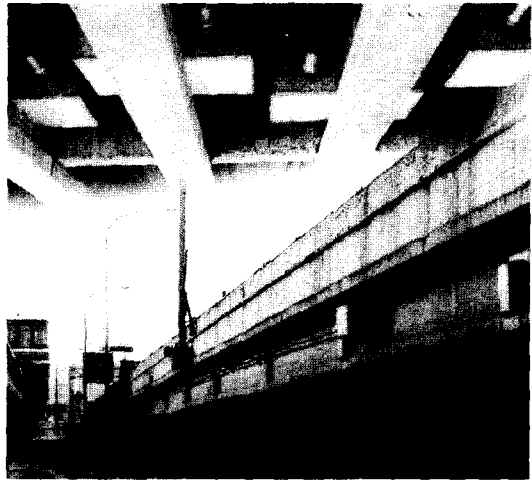


그림 4 프리스트레스를 도입한 PC 보의 연속화



(a) 강구조 보의 연속화 사례



(b) PC 보의 연속화 사례

그림 5 교량의 연속화 사례

- 3) 가로보 사이를 모르타르로 충전시킨다.
- 4) Strand에 인장력을 가하여 고정시킨다. 필요에 따라서 그림 4와 같이 콘크리트 보를 외부강선(external cable)로 프리스트레스를 도입할 수도 있다.

일반적으로 장경간 교량의 경우, 연결부의 수평 및 회전처짐이 크며 연결부위의 변위를 흡수하기가 어렵다. 이 경우, 연결부위의 변위를 구속하여 줄이는 방법으로 보를 연속화시킨다. 실제로 연속화된 교량을 그림 5에 나타내었다

상판을 연속화 할 경우는 다음과 같이 시공된다.

- 1) 단순교의 받침을 탄성받침으로 교환한다.
- 2) 연결부 상판의 일부를 잘라낸다.
- 3) 보의 상부 flange를 연결시킨다.
- 4) 상판의 연결부에 철근배근후 콘크리트를 타설한다.

상판의 휨 강성이 보에 비교하여 작기 때문에 활하중과 같은 연직하중에 대하여 단순보에 가깝게 거동하지만, 지진 및 온도변화에 의한 수평하중에 대하여는 연속보로서 거동하게 된다. 특히 상판이 연결부의 변위를 흡수하므로, 일반적으로 단순보 단부의 수평 및 회전변위가 작은 단경간의 교량에만 적용 가능하다. 연결부 상판의 변위로 인하여 상판의 연속화 부분에 균열이 발생할 수 있으며, 발생한 균열부위로 누수가 될 가능성이 있기 때문에 상판의 연결부위는 방수처리를 하여야한다.

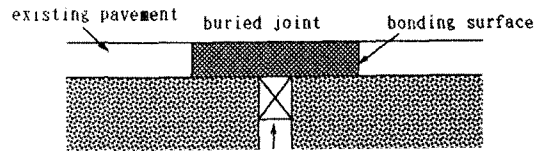
단순교를 연속교로 구조적 전환을 하지 않고 포장만을 연결하여 신축장치를 제거할 수 있다. 이 경우 신축장치는 존재하지만 포장의 하부에 묻혀 있기 때문에 buried joint 라고 한다. 포장 연결부의 변위는 포장재가 흡수하여야 하기 때문에 일반적으로 신축장치의 변위가 작은 단경간(20m 이하)에 주로 사용된다. Buried joint는 그림 6과 같이 3가지로 분류되며, 각각의 특징은 다음과 같다.

1) 변위흡수형

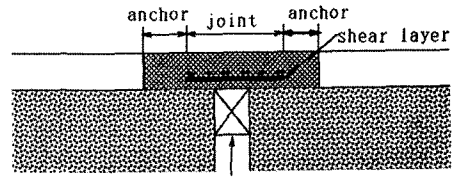
그림 6 (a)의 변위흡수형은 연질의 포장재를 이용하여 신축장치부위를 포장하는 공법이다. 신축장치의 변위는 포장재가 흡수한다.

2) 변위분산형

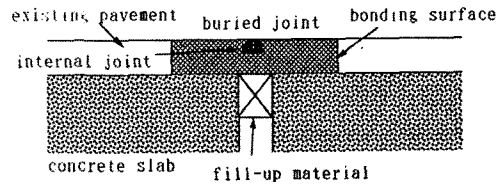
그림 6 (b)의 변위분산형은 "shear layer"라고 불리는 시트를 이용하여 포장을 2개층으로 분리한 공법이다. 비교적 연질포장재가 하부층에 이용



(a) 변위흡수형



(b) 변위분산형



(c) 변위유도형

그림 6 Buried joint 의 종류

되며 상부층은 일반 아스팔트 포장으로 시공된다. 신축장치 부위의 변위는 shear layer의 전단변형 때문에 전 부위에 분산된다.

3) 변위유도형

그림 6 (c)의 변위유도형은 신축장치에 발생하는 변위를 포장부위에 설치되어 있는 내부장치로 집중시키는 방법이다.

포장재에 발생한 균열 및 차량 타이어에 의한 밀립현상이 모든 buried joint 파손의 주요 원인이며 손상정도는 아래와 같이 표 2에 나타나 있다.

표 2 Buried joint의 손상정도

종류	변위 흡수형	변위 분산형	변위 유도형
균열손상	최소	보통	최대
타이어에 의한 밀립	최대	보통	최소

변위흡수형에서 타이어에 의한 밀립현상이 가장 심하게 나타났으며, 그 이유는 연결성의 포장재를 이용하였기 때문이다. 그리고 밀립에 인한 파손이 가장 작은 것은 변위유도형이다. 한편, 균열손상이 가장 심하게 나타난 곳은 변위유도형이며, 균열발생이 최소였던 것은 연결성의 포장재를 이용한 변위흡수형이었다.

3. 연속화의 설계

교량연속화의 설계는 그림 7과 같다. 연속화한 이후, 활하중이 재하된 경우는 연속보로서 거동하지만 보의 연결이 탄성지점 교환후 시공되므로 사하중에 대해서는 단순보와 같은 모멘트 분포가 이루어진다. 따라서 연속화 이후의 거동은 활하중만 재하하여 검토하여도 무방하다. 상세한 모멘트 분포도는 표 3에 나타나 있다.

반력분산용 탄성받침의 이용은 활하중 및 지진시 수평하중을 전 지점에 분산시키기 위하여 사용된다. 활하중 재하시 그림 8에 나타난 것과 같이 탄성받침을 사용하지 않으면 연결부위에 부모멘트 및 부반력이 발생한다. 지점을 탄성받침으로 교환하면 활하중에 의한 반력을 전 지점으로 분산시키며 부모멘트 및 부반력의 발생도 억제시킨다. 탄성받침의 연직탄성계수 계산은 활하중 재하시 연속화된 교량의 반력이 연속화 이전보다 크지 않도록 하여야 하며, 30m정도의 교량받침의 일반적인 연직방향 탄성계수와 반력과의 관계는 그림 9와 같다. 일반적으로 사용되는 탄성받침의 연직탄성계수는 약 40,000tf/m 정도이며 연직탄성계수가 과대할 경우 연속화된 교량의 반력도 커지게 된다.

지진시 각 교각에 전달되는 수평력은 그림 10과 같이 탄성받침의 수평탄성계수를 조정하여 각

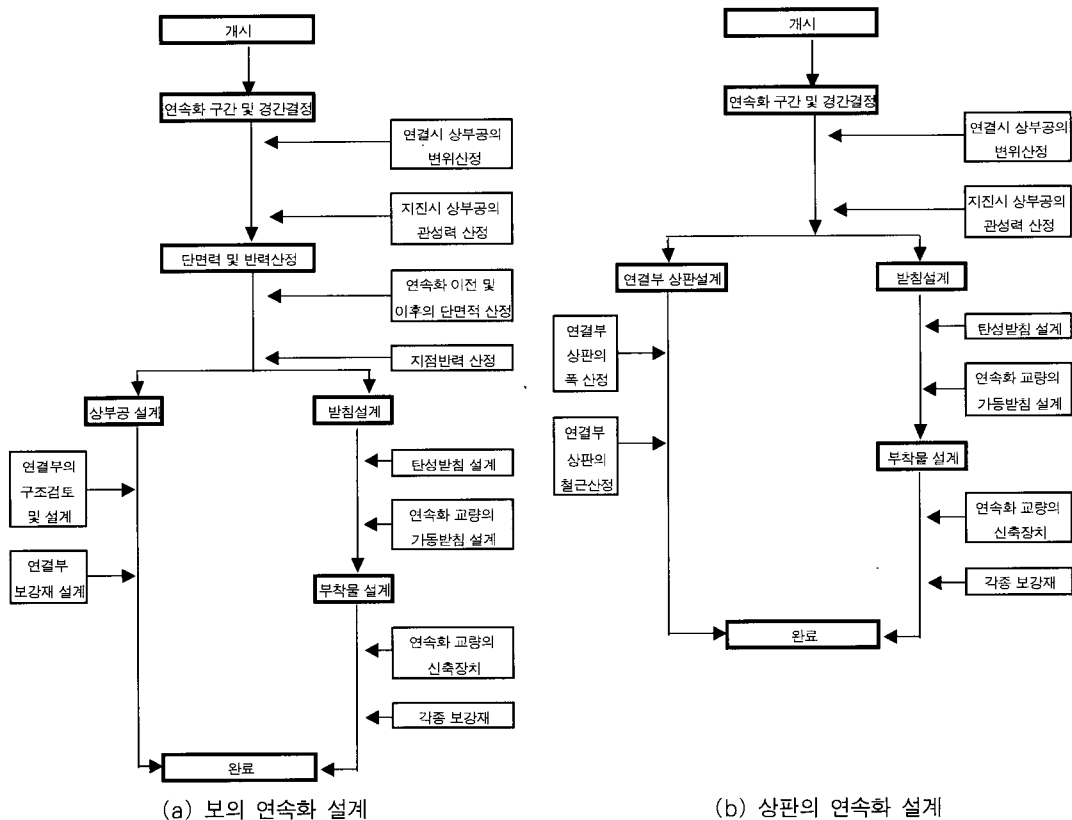


그림 7 연속화 설계순서

표 3 연속화 공정상의 휨모멘트 분포

하중	활하중	사하중
단순보		
탄성받침 교환후		
연속화 이후		

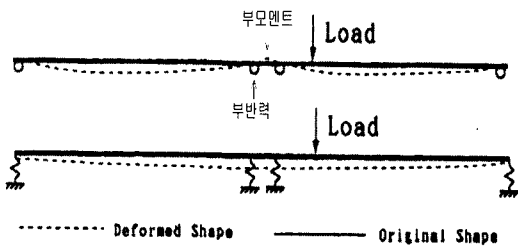


그림 8 활하중 반력분산

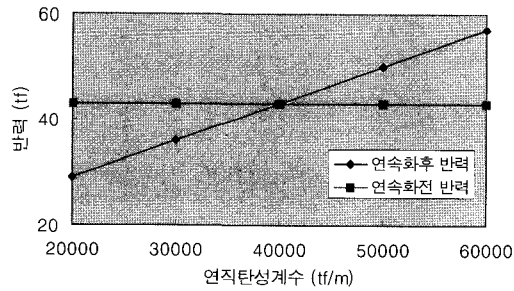


그림 9 반력과 탄성계수의 관계

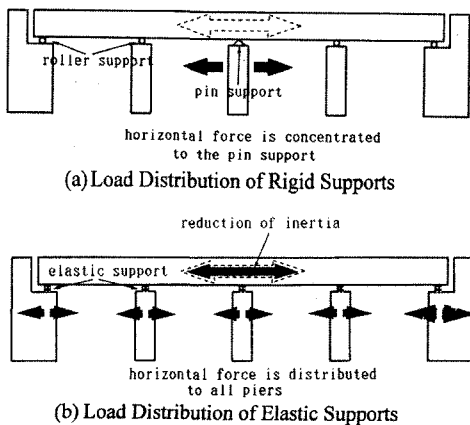


그림 10 수평력의 분산

지점에 분산시킨다. 연속화 후 상부구조물의 관성력 역시 연속화 이전과 비교하여 크지 않게 조정하며, 연속화 교량 단부의 수평변위가 탄성받침의 허용범위보다 크면 가동받침으로 설계하는 것이 일반적이다. 탄성받침의 감쇄효과가 크기 때문에 상부공의 관성력을 줄이는데 이바지한다. 특히 탄성받침의 수평탄성계수는 재하속도에 크게 좌우되며, 온도변화 및 건조수축 등 재하속도가 느린 경우 탄성받침의 반력도 크게 감소한다.

4. 결 론

최근 교량의 신축장치는 소음 및 진동으로 주위 환경에 악영향을 미치는 원인으로 부각되고 있다. 특히 신축장치의 잦은 손상은 유지관리상 경제적 낭비를 초래하고 있다. 본고는 기존 단순교의 신축장치를 제거하는 연속화 공법에 대하여 설명하였으며, 단순교를 연속화할 경우의 장점은 아래와 같다.

- 1) 탄성받침을 사용함으로써 내진성이 향상된다.
- 2) 신축장치의 수가 줄며 유지관리가 용이해진다.
- 3) 신축장치로 인해 발생하는 진동 및 소음을 줄일 수 있다.
- 4) 차량의 주행성이 향상된다.
- 5) 보를 연속화할 경우 활하중 재하시 보강효과가 있다.

현재 연속화 공법을 적용할 수 있는 교량은 매우 제한적이지만, 형식이 다른 교량 구조물의 연속화에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있으며 그 실적도 있다. 다양한 교량 구조물의 연속화가 가능

하게 되면 유지관리가 용이하게 될 것으로 생각된다.

참고 문헌

1. 道路保全技術センター, 既設橋梁のノージョイント工法の設計施工手引き(案), 1995. 1
2. (社)建設コンサルタンツ協會, 橋梁のジョイントレス化に関する提案と試設計, 1996. 7
3. 長沼 敏彦 外1人, "舗裝のみの連続化(埋設ジョイント)", 橋梁と基礎 28卷 8號, 1994. 8, pp. 167~168
4. 雄谷 健二, "床版連結による鋼桁のノージョイント化", 橋梁と基礎 28卷 8號, 1994. 8, pp.169~171
5. 建設省土木研究所, "道路橋の免震設計法(案)", 1995. 8
6. 日本道路協會, "道路交市方書", 1996. 12
7. 狩生 輝巳 外2人, "首都高速小松川線の全面通行止め補修工事-ノージョイント化工事", 橋梁と基礎 26卷8號, pp.124~125
8. 乙墨 幸年 外1人, "鋼桁ウェブの連結によるノージョイント化", 橋梁と基礎 28卷 8號, 1994. 8, pp.172~173
9. 山本 悟司, "既設橋梁の連続化", 橋梁と基礎, 28卷 8號, 1994. 8, pp.163~166
10. 岩井 政光 外3人, "鋼桁の連続化箱桁化に伴う補強効果確認試験(坪の内高架橋)", 宮地技報 13卷, 1997, pp.94~103
11. 前川 幸次 外3人, "鋼桁の連続化ジョイントレス工法の連結部應力に関する研究", 土木學會第46回年次學術講演會, 1995, pp.658~659
12. 關本 宏 外2人, PC桁ノージョイント工法の開發, 土木學會第45回年次學術講演會, 1994, pp.710~711
13. Nishikawa and Yamamoto, "No-Joint Method for the Existing Bridges", Technical Report of Civil Engineering, Sep. 1993, pp.35~39
14. Shinkai, M. and Ueda, T., "The Jointless Work of Multi Simple Span Bridges in Chuo Expressway", *J. of Bridge and Foundation Engineering*, Vol. 28, 1994, pp.174~175
15. Park, J. J., Matsui, S., Higashiyama, H. and Egashira, K., Effect of Change of Boundary Condition from Rigid to Elastic Supports on Slab Behavior, *Proceedings of the Japan Concrete Institute*, Vol. 19, 1997, pp. 1479-1484 