

(25) 横桁連結工法における連結部の疲労実験

(財)阪神高速道路管理技術センター 開発研究部 林 秀侃
 阪神高速道路公団 保全施設部 川村 勝
 昭和コンクリート工業(株) 大阪支店 正会員 ○内田 耕太郎
 ピーシー桥梁(株) 大阪支店 正会員 城代 和行

1. はじめに

道路橋の伸縮装置の破損は、安全で円滑な車両交通の妨げになるばかりでなく、破損個所の補修工事は交通渋滞を招くものとして、橋梁の維持管理上の大きな問題点となっている。こうした状況のなか、伸縮装置に起因する種々の問題の改善及び環境の改善を目的とするノージョイント化に対する工法の開発が急務となっている。伸縮量の比較的大きい橋長2.5m以上のPC桁のノージョイント化に対する既存の連結工法は、大規模な補修工事を伴うことから都市内での適用は困難であると考え、既設橋梁の端支点横桁どうしをPC鋼棒にて連結する工法(以下横桁連結工法し略称)を選定し実用に向けて検討を行っている。

これまでに静的実験として、主桁と横桁の接触面のせん断耐力実験¹⁾、横桁耐力実験、連結後の主桁挙動確認実験²⁾を実施し静的挙動については明らかにされて来た。

従って、本疲労実験は横桁連結工法をモデル化した供試体を作成し、構造全体としての疲労特性を把握し、破壊のプロセスを確認することにより、本工法が実用に供する性能を持つかを検証するために実施した。

2. 実験概要

2.1 供試体

供試体の断面は、実構造物(試験施工)の約1/2にスケールダウンした断面とし、実構造物における断面力とたわみ角の関係を一致させるため、実構造物における曲げモーメントの交番範囲を取り出した供試体を用いた。供試体の形状を図-1(供試体形状)に示す。

連結部横桁の連結PC鋼棒は、φ23mmを8本使用し、連結目地部に2.0kg/cm²のプレストレスを導入し、床版横締めPC鋼材もφ23mmを用い実構造物のプレストレス応力状態を再現した。

2.2 載荷荷重

載荷荷重は、2ケースとし供試体①は実構造物のB活荷重フル載荷による中間支点上の負の曲げモーメントにより発生する主桁上縁の引張応力度(1.0σ_{max})を再現する載荷荷重P=21.9tfを載荷し、供試体②にはB活荷重レーン載荷により発生する主桁上縁の引張応力度(0.75σ_{max})に相当する載荷荷重P=15.8tfとし載荷した。

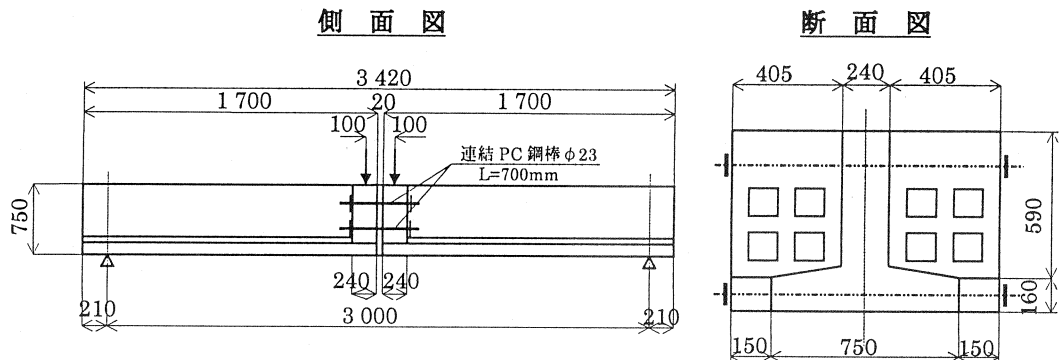


図-1 供試体形状

2. 3 荷重方法および計測方法

荷重点は、図-2の供試体の中央からそれぞれ110mm離れた2点とし、表-1に示す荷重パターンにて静的荷重および疲労荷重を行った。

写真-1に疲労荷重の状況を示す。

各々、静的荷重時には、主桁の鉛直変位、連結目地部の開口量、主桁と横桁の相対変位(ずれ)、連結PC鋼棒のひずみ、コンクリートのひずみを静的に計測した。

表-1 荷重パターン

	供試体①			供試体②			繰り返し回数 (N)
	P=21.9tf			P=15.8tf			
	下限 (kgf/cm ²)	上限 (kgf/cm ²)	振幅 (kgf/cm ²)	下限 (kgf/cm ²)	上限 (kgf/cm ²)	振幅 (kgf/cm ²)	
静的荷重		1.0σ _{max}			0.75σ _{max}		
疲労荷重	0.0σ _{max}	1.0σ _{max}	1.0σ _{max}	0.0σ _{max}	0.75σ _{max}	0.75σ _{max}	10
静的荷重		1.0σ _{max}			0.75σ _{max}		
疲労荷重	0.0σ _{max}	1.0σ _{max}	1.0σ _{max}	0.0σ _{max}	0.75σ _{max}	0.75σ _{max}	100
静的荷重		1.0σ _{max}			0.75σ _{max}		
疲労荷重	0.0σ _{max}	1.0σ _{max}	1.0σ _{max}	0.0σ _{max}	0.75σ _{max}	0.75σ _{max}	1 000
静的荷重		1.0σ _{max}			0.75σ _{max}		
疲労荷重	0.0σ _{max}	1.0σ _{max}	1.0σ _{max}	0.0σ _{max}	0.75σ _{max}	0.75σ _{max}	10 000
静的荷重		1.0σ _{max}			0.75σ _{max}		
疲労荷重	0.0σ _{max}	1.0σ _{max}	1.0σ _{max}	0.0σ _{max}	0.75σ _{max}	0.75σ _{max}	100 000
静的荷重		1.0σ _{max}			0.75σ _{max}		
疲労荷重	0.0σ _{max}	1.0σ _{max}	1.0σ _{max}	0.0σ _{max}	0.75σ _{max}	0.75σ _{max}	1 000 000
静的荷重		1.0σ _{max}			0.75σ _{max}		
疲労荷重	0.0σ _{max}	1.0σ _{max}	1.0σ _{max}	0.0σ _{max}	0.75σ _{max}	0.75σ _{max}	2 000 000
静的荷重		終局荷重			終局荷重		

3. 実験結果

3. 1 表面性状変化

供試体①および供試体②の性状変化を比べると以下ようになる。(図-2、図-3参照)

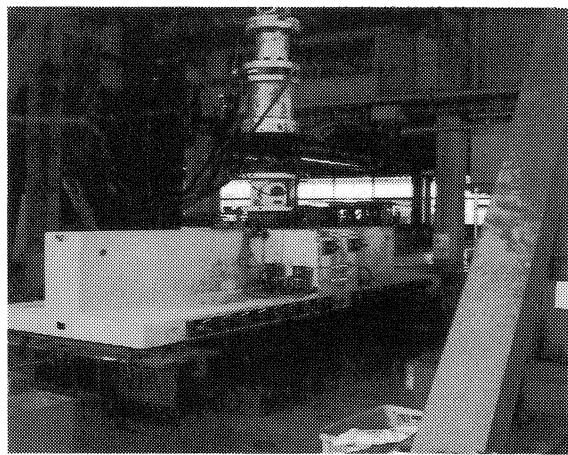
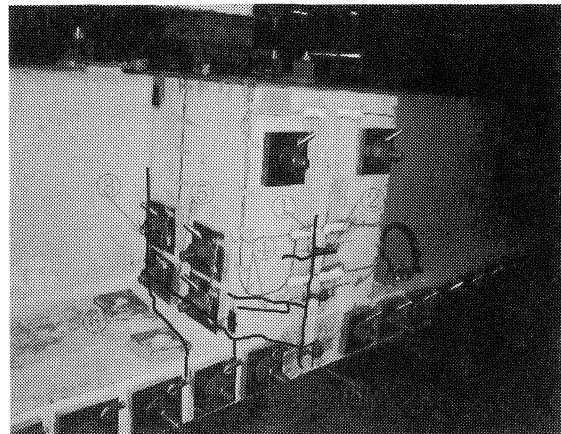


写真-1 疲労荷重状況

ひび割れ箇所	供試体①
①	疲労荷重回数 n=1 で発生し以降進展なし。
②	荷重回数 10~1,000 に水平方向に発生し、ひび割れ④が発生すると進展が止まる。
③	荷重回数 5,000 回で発生し 48000 回で東面の南側で横桁の上縁と主桁の縁が切れるようなひび割れが発生する
④	荷重回数 3,400 回で目地部方より発生し 5,000 回で貫通する。10,000 回で上下 2 本となり、静的荷重時に約 1.0m 開口し、徐荷後も 0.5mm 程度開いている。 100,000 回でひび割れ部に角落ちが認められ 120,000 回でかなりの角落ち(10x20mm)が発生した。
⑤	荷重回数 5700 回で発生。 1,300,000 回で大きく破損
⑥	荷重回数 40,000 回で発生
⑧	荷重回数 500,000 回で上方より発生し 1,300,000 回でひび割れ①と貫通する。(破壊時)
⑧	荷重回数 1000,000 回で剥落



* 疲労荷重回数 n=1,300,000 回で破壊
図-2 供試体① 表面性状変化

ひび割れ個所	供試体②
①	疲労荷数1で発生し10,000回までに上部へ進展しその後は進展なし。
②	荷回数4,200~43,000に水平方向に徐々に発生し以降は進展なし。
③	疲労荷数2,000,000回まで発生せず、終局荷重荷時時に発生する。
④	疲労荷数2,000,000回まで発生せず、終局荷重荷時時に発生する。
⑤	疲労荷数2,000,000回まで発生せず、終局荷重荷時時に発生する。
⑥	疲労荷数2,000,000回まで発生せず、終局荷重荷時時に発生する。
⑧	疲労荷数2,000,000回まで発生せず、終局荷重荷時時に発生するがひび割れ①と貫通しない。
⑧	発生せず

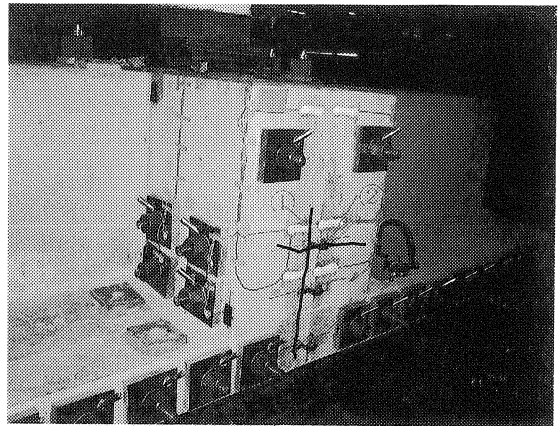
3.2 目地部開口量

目地部の両側面及び下面の開口量の計測結果を図-4に示す。図中に示される値は、疲労荷回数 n における、静的荷重試験の最大荷重荷重時 (供試体① $p=21.9tf$ 、供試体② $p=15.8tf$) の開口量を疲労荷回数毎に示した。

供試体①の東側面、西側面の開口量については、側面上段より測点①、②、③の順に開口量が大きくなる。疲労荷回数と開口量の関係は、 $n=1,000$ 回までは各測定位置ともほぼ同量の開口量を示すが $n=1,000$ 回以降は両側面の最下段位置と下面の全ての測点では急激に開口量が増し、両側面上段より①、②の測点では、開口量が減少しほぼ一定の開口量となる。

これらは、前頁の表面性状変化のひび割れ個所④に $n=3,400$ 回でひび割れが発生し $n=5,000$ 回で横桁にひび割れが貫通し $n=10,000$ 回でひび割れが上下2段となったことが原因と考えられる。

これに対し、供試体②は供試体①に比べ横桁に大きなひび割れが発生していないため、疲労荷回数 $n=2,000,000$ 回まで開口量に大きな変化は、認められないものと考えられる。



* 疲労荷回数 $n=2,000,000$ 回後のひび割れ状況 (破壊せず)

図-3 供試体② 表面性状変化

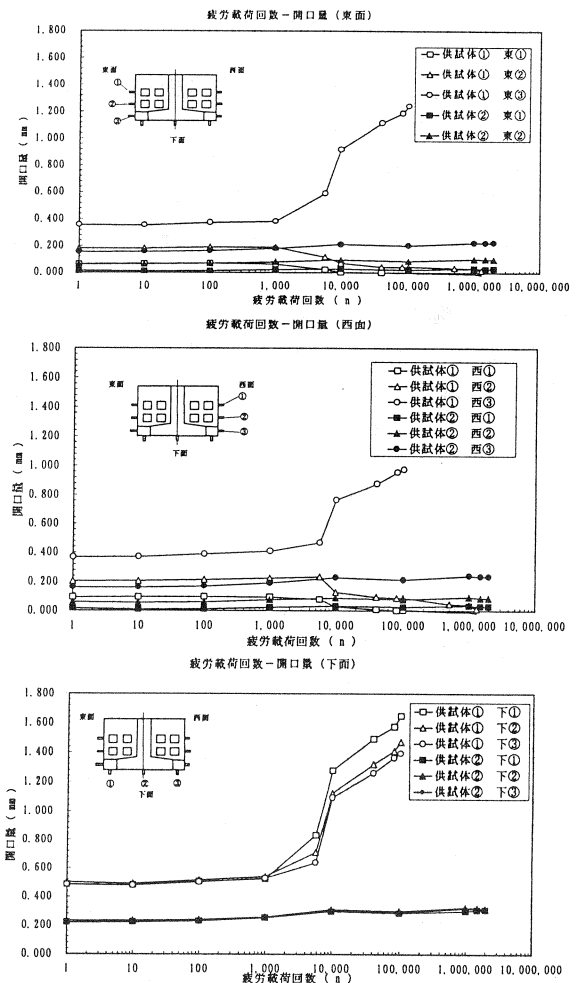


図-4 疲労荷回数と開口量

3. 3 鉛直変位

供試体の鉛直変位の計測結果を図-5に示す。

供試体①における疲労载荷回数と鉛直変位の関係は、目地部の開口量とほぼ同じ傾向となり、疲労载荷回数 $n=1,000$ 回までは各測定位置ともほぼ同量の鉛直変位を示すが、疲労载荷回数 $n=5,700$ 回でのひび割れ位置⑤（表面性状変化の項参照）の横桁上面と主桁アッパーフランジ下面の界面にひび割れが発生した時点と、ひび割れ位置④の横桁側面の下段PC鋼材に沿ったひび割れが発生した疲労载荷回数 $n=10,000$ 回時点を境に鉛直変位が、急激に増加する。

これに対し、供試体②は供試体①に比べ疲労载荷による断面性状の大きな変化が無いため疲労载荷回数 $n=2,000,000$ 回まで鉛直変位量に大きな変化は、認められない。

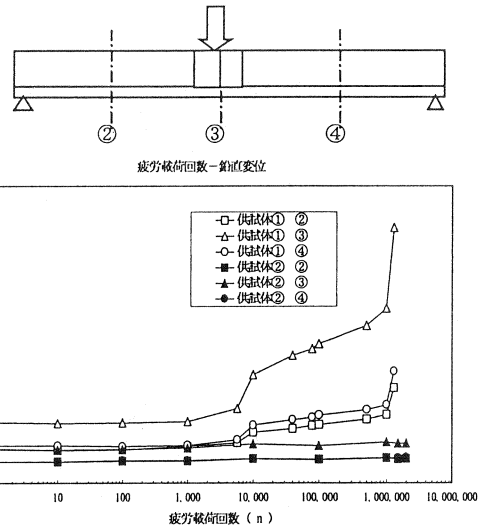


図-5 疲労载荷回数と鉛直変位

3. 4 主桁と横桁の相対変位

主桁と横桁の相対変位の計測結果を図-6に示す。

供試体①における疲労载荷回数と相対変位の関係も、目地開口量、鉛直変位とほぼ同じ傾向となり、供試体東面の相対変位は疲労载荷回数 $n=1,000$ 回までは殆ど発生せず、载荷回数 $n=5,700$ 回で相対変位 0.2mm 程度発生する。

これはひび割れ位置⑤（表面性状変化の項参照）にひび割れが発生した時点と一致する。その後相対変位は増加する。一方供試体西面においては、载荷回数 $n=5,700$ 回では相対変位は発生しなく、载荷回数 $n=10,000$ 回時点で 0.2mm 程度の相対変位が発生しその後相対変位は増加する。

これに対して、供試体②は疲労载荷回数 $n=2,000,000$ 回まで相対変位は認められず、主桁と横桁のずれは発生しない。

3. 5 連結PC鋼材の増加張力

連結PC鋼材の増加張力の計測結果を図-7に示す。

供試体①の上段のPC鋼材の増加張力は、東側横桁に配置されたPC鋼材①②は疲労载荷回数 $n=1,000$ 回までは増加張力は、ほぼ一定の値を示すが $n=5,700$ 回で急激に増加張力が減少する。

一方 西面に配置されたPC鋼材③④は疲労载荷回数 $n=5,700$ 回までは、ほぼ一定の値を示すが $n=10,000$ 回で急激に増加張力が減少する。

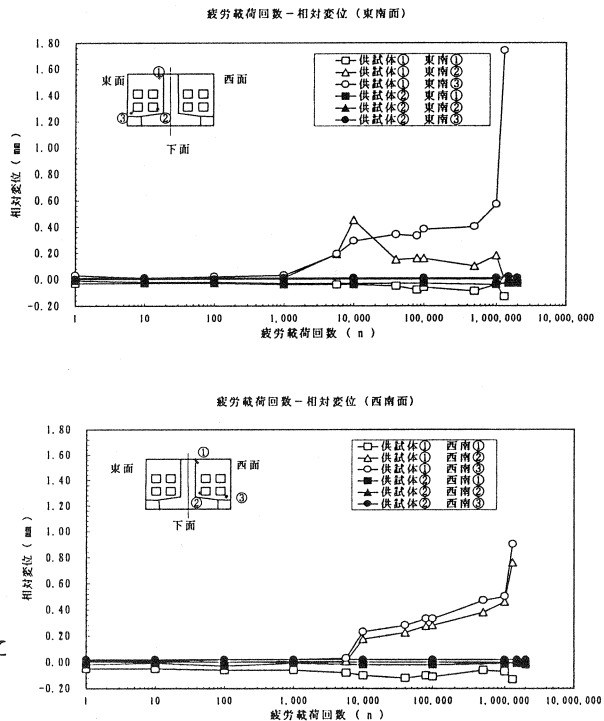


図-6 疲労载荷回数と相対変位

これらの増加張力の変化は先の疲労載荷回数と相対変位の関係に一致する結果となる。

供試体①における上段P C鋼材と下段P C鋼材の増加張力の減少量は、上段配置P C鋼材の方が顕著に表れるが、これは表面性状変化の項のひび割れ位置④に疲労載荷回数 $n=5,000$ 回でひび割れが下段P C鋼材位置に水平に発生したことにより、ひび割れ④より上への目地部開口量が水平ひび割れに吸収され、上段P C鋼材位置での開口量が減少したためと考えられる。(

図-4 疲労載荷回数と開口量 参照)

供試体②は疲労載荷回数 $n=2,000,000$ 回まで顕著な増加張力の変化は認められなかった。

3.6 コンクリート応力度

コンクリート応力度の計測結果を図-8に示し、図中に示される値は、疲労載荷回数 n における、静的載荷試験の最大載荷荷重時(供試体① $p=21.9\text{tf}$ 、供試体② $p=15.8\text{tf}$)のコンクリート応力度を疲労載荷回毎に示した。

供試体①の上縁におけるコンクリート応力度は、前頁までの結果とほぼ同じ傾向となり、疲労載荷回数 $n=1,000$ 回までは殆ど変化せず、載荷回数 $n=1,000$ 回以降で測点Cは次第に減少し、測点Dは急激に圧縮応力度の増加を示した。

一方 供試体①の下縁側コンクリート応力度は、測点Cは、疲労載荷回数 $n=1$ 回より破壊時まで殆ど引張応力度は発生しないが、測点Dは疲労載荷回数 $n=10,000$ 回以降に急激に圧縮応力の増加が認められた。

これに対し、供試体②は供試体①に比べ疲労載荷による断面性状の大きな変化が無いため疲労載荷回数 $n=2,000,000$ 回まではコンクリート応力度は、殆ど変化しない。

4. 考察

供試体①は、疲労載荷回数 $n=5,000$ 回で、主桁、床版と横桁の接触面のずれが確認されておりこの段階を境に力の伝達が行われなくなったと考えられる。

このことは、連結P C鋼材の増加張力が減少に転じたことや、鉛直変位量、目地部の開口量

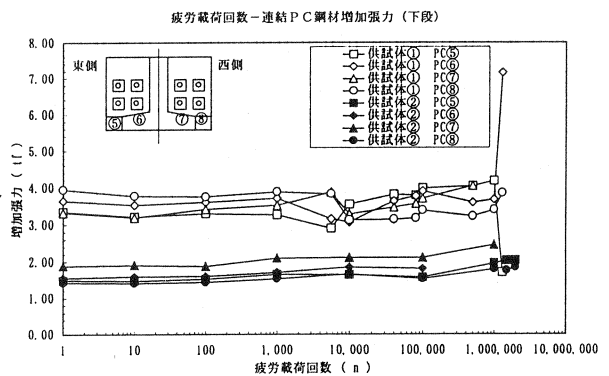
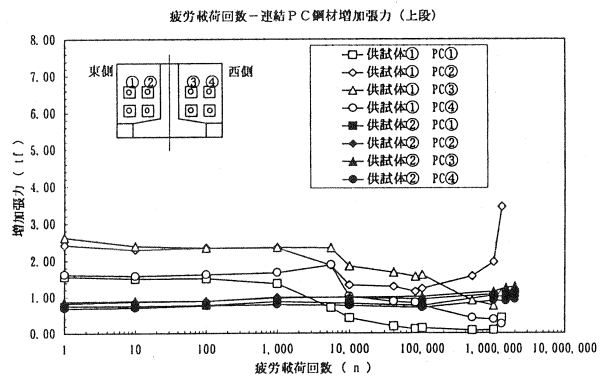


図-7 疲労載荷回数とPC鋼材増加張力

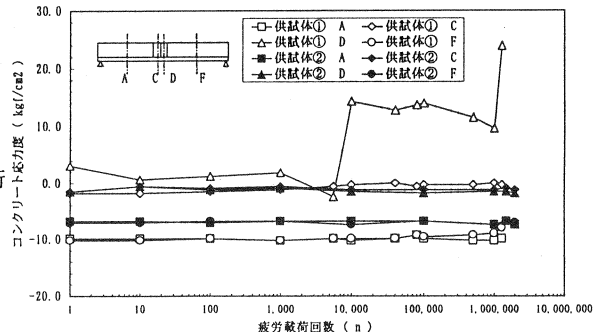
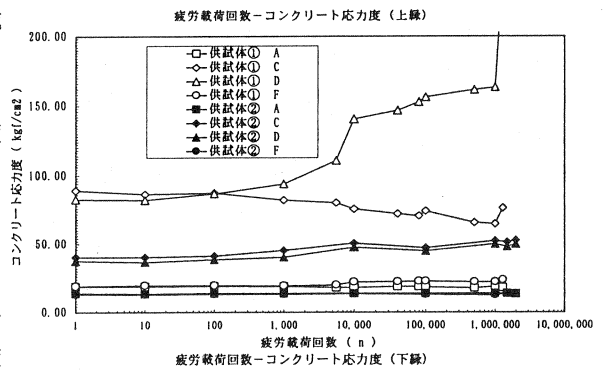


図-8 疲労載荷回数とコンクリート

が増加した時点と一致していたことから推定できる。その後は繰り返し载荷により、主桁と横桁間の接触のずれが進行し連結部の剛性が低下することにより変位、開口量が增大するものと考えられる。

そして $n=1,300,000$ 回で耐荷力が急激に低下し破壊に至った。

実験における連結部の剛性低下（鉛直変位に着目した場合）と実構造物における連結部剛性率と連結部の発生モーメントの関係を図-9に示す。

実験における連結部の剛性低下率は鉛直変位に着目した場合、B活荷重フル载荷を再現した供試体①で6.4~1.4%の剛性低下となり、B活荷重レーン载荷を再現した供試体②で17.0~12.6%の剛性低下となった。

今回の载荷荷重の設定は、交番部を大きくとるためと、破壊プロセスの確認のために、連結部を連続桁と考えてモーメント計算を行っている。試験施工の結果からも、実構造物における横桁連結部の剛性は連続桁の5~20%であることから、本実験の载荷荷重（発生モーメント）は、非常に大きなものであった。

また、B活荷重フル载荷の曲げモーメント125.7tfmが発生したとしても、供試体②の実験結果の連結部の剛性低下17.0~12.6%を用いれば（図-8）発生モーメントは98.0~102.5tfmとなり、供試体②で再現したB活荷重レーン载荷相当となる。

したがって、現在の交通状況では、本実験のような負の曲げが働くことが稀であるため、供試体①のような連結部の破壊は急激には発生しないものと考えられる。

5. まとめ

本実験により、繰り返し载荷による破壊プロセスを考察したが、現在の交通状況では、本横桁連結工法は供試体①のような連結部の破壊は急激には発生しないものと考えられ、また、主桁の耐力に影響する破壊形態は示さないことがわかった。

今後の管理方法としては、上記の横桁周囲のひび割れを点検することとなるが、横桁が主桁および床版とも分離してきた場合における補修工法の確立が今後の検討課題となると考えられる。

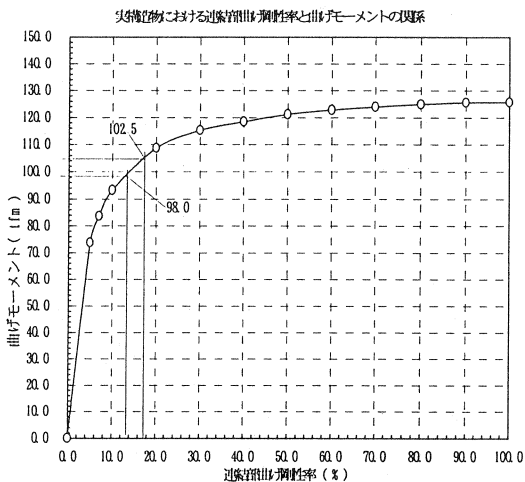
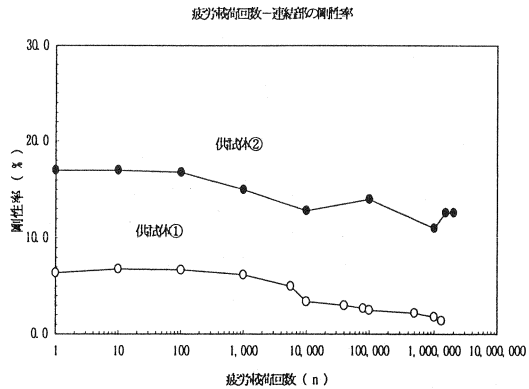


図-9 連結部剛性低下と発生モーメントの関係