

I-39

敷砂を緩衝材とするPC多主桁の衝撃挙動

室蘭工業大学 正員 菅田 紀之
 開発土木研究所 正員 中野 修
 開発土木研究所 正員 西 弘明
 室蘭工業大学 正員 岸 徳光

1. はじめに

山岳部および海岸部等の道路施設として、落石による人命損失および交通障害を防止するために落石覆工が建設されている。現在、そのような落石覆工の設計は、落石対策便覧¹⁾に基づいて行われている。落石対策便覧では、落石による衝撃荷重を荷重算定式により推定し緩衝材による荷重分散を考慮して等分布静荷重に置き換え、許容応力度法により設計するのが適当であるとしているが、部材断面力あるいは部材応力の数値解析法についての規程は明記されていなく、算定された荷重を入力として静的解析により設計されているようである。しかしながら、衝撃荷重を受ける構造部材の挙動は、静的挙動とは異なることが多くの研究により報告されており、衝撃荷重を受ける落石覆工の断面力を算定するためには、覆工の動的な挙動を明らかにする必要があるものと考えられる。

落石覆工の一つであるPC落石覆工の場合、頂版がPC多主桁で構成されている。しかしながら、実際の設計は単一桁として行われており、立体的な構造の効果はほとんど考慮されていない。このような設計を合理的に行うには、多主桁が衝撃荷重を受ける場合に一本の桁が分担する荷重やフランジ等に発生する断面力について明らかにする必要があるものと考えられる。

本研究では、PC落石覆工の耐衝撃設計に関する基礎資料を得ることを目的として、単純支持されたPC多主桁の重錘落下衝撃実験を行い、その動的挙動について検討を行っている。実際の覆工上には緩衝材が敷かれているため、緩衝材として一般に用いられている敷厚 90 cm の敷砂を用い実験を行った。検討は、重錘の衝撃加速度およびPC多主桁の応答歪により行った。

2. 実験の概要

実験を行ったPC多主桁は、図-1に示すようにプレキャストのT桁を 120 cm 間隔で5本並べ、フランジ間(1 cm)に無収縮モルタルを充填し横締めを行ったものである。桁の製作に用いたコンクリートの衝撃実験時での圧縮強度は、現場養生で 777 kgf/cm^2 であった。また、プレストレスの導入に用いたPC鋼材は SBPR 930/1080 $\phi 26$ のPC鋼棒である。主桁のプレストレスは、PC鋼棒の有効引張応力を 53.76 kgf/mm^2

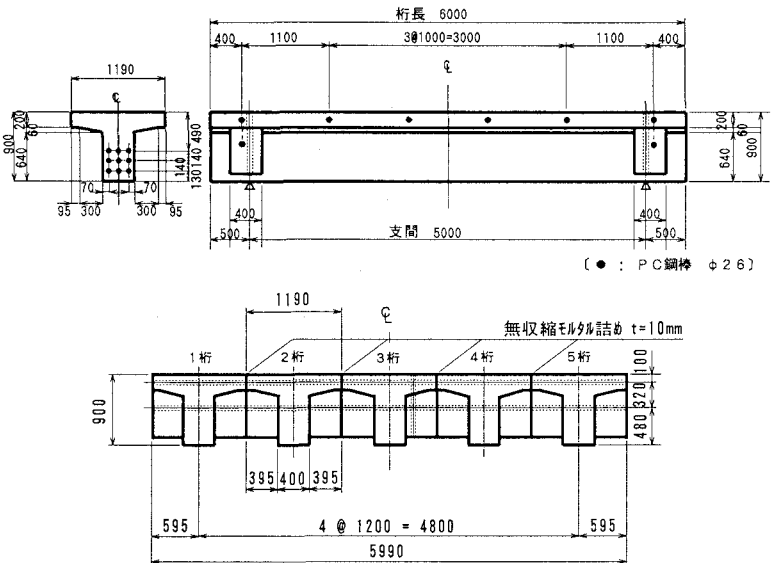


図-1 PC多主桁

として導入されており、桁上縁で 17.4 kgf/cm^2 の引張応力、下縁で 153.1 kgf/cm^2 の圧縮応力である。横締めプレストレスは、100 cm 間隔に配置されたPC鋼棒の有効引張応力を主桁と同様に 53.76 kgf/mm^2 として導入され、フランジ付け根の上縁で 18.2 kgf/cm^2 の圧縮応力、下縁で 3.3 kgf/cm^2 の圧縮応力である。

衝撃荷重の載荷は、PC多主桁上に緩衝材を設置し、図-2に示す3 tfの重錘をトラッククレーンにより所定の高さにセットし、自由落下させることにより行っている。使用した緩衝材は、一般に使用されている敷厚90 cmの敷砂である。実験は、落下位置および落下高を変えて行った。また、PC多主桁の横締めプレストレスを解放した場合についても実験を行っている。実験ケースの一覧を表-1に示す。

本実験に用いた計測システムのフローチャートを図-3に示す。重錘による衝撃荷重を測定するために、重錘に歪ゲージ式の加速度を取付けている。また、PC多主桁の応答性状を測定するために、歪ゲージを図-4に示す位置の鉄筋に添付している。各センサーからの出力は直流増幅器を用いて増幅し、データレコーダーに一括集録している。集録された波形は、デジタルメモリーを用いてA/D変換を行い、パーソナルコンピュータにより磁気ディスクに記録し、ワークステーションを用いてデータ処理を行っている。

3. 実験結果と考察

3.1. 重錘衝撃力波形

図-5は、各実験ケースにおける重錘加速度より求めた衝撃力の波形である。重錘衝撃力の最大値は、3桁に10 m落下した場合118 tf、5 m落下の場合53 tfであり、10 m落下では2倍以上の衝撃力を示している。また、衝撃時間および最大値発生時間は10 m落下の場合135 msec および25 msec、5 m落下の場合150 msec および35 msec となり、10 m落下では衝撃時間が15 msec、最大値発生時間が10 msec 短くなっている。重錘の砂への貫入量が大きくなることにより、砂が締固められ剛性が大きくなったためと考えられる。2桁および4桁に重錘を落下した場合、衝撃力が58 tf、57 tf、衝撃時間が160 msec となり、3桁落下の場合よりも衝撃力が大きくなり衝撃時間が長くなっている。横締めを解放して行った実験では、3桁落下で衝撃力が1.5倍の76 tf、衝撃時間が120 msec と短くなり、剛性

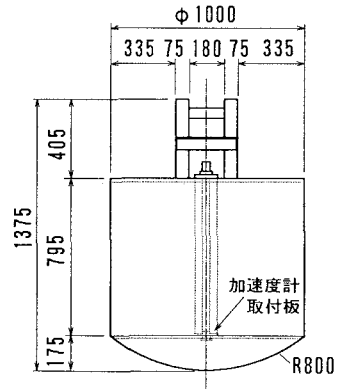


図-2 重錘 (重量 3 tf)

表-1 実験ケース一覧

実験ケース	載荷桁番号	落下高 (m)	横締め
1-2	2		
1-3	3	5	導入
1-4	4		
2-2	2		
2-3	3	5	解放
2-4	4		
3-3	3	10	導入

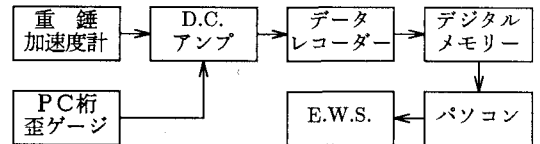


図-3 計測システム

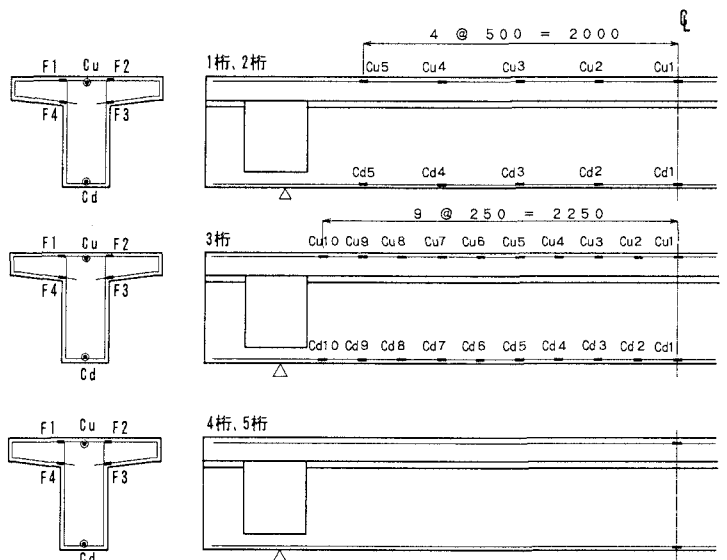


図-4 PC桁の歪ゲージ位置

が大きくなったような挙動をしている。また2桁および4桁に重錘を落下した場合には、衝撃力がそれぞれ 65 tf、67 tf、衝撃時間が 140 msec となり、3桁落下と比べると剛性が小さくなったような挙動をしていることがわかる。

3.2. 主桁の歪応答波形

図-6は、重錘を高さ 10 m から3桁に落下させたときに発生した3桁の軸歪の応答波形を示している。各応答波形はほぼ同様な分布を示し、上下端筋の歪波形はほぼ対称な分布をしている。各上下端筋の応答値の比がほぼ一定で、その歪より中立軸の位置は上縁より約 35 cm と求められ、全断面有効と仮定して求めた中立軸の位置 35.5 cm とほぼ等しいことから、桁は各断面において全断面有効状態で弾性的な挙動をしているものと考えられる。各歪波形の最大応答値はスパン中央部で最大となり支点に近づくにしたがい小さくなっている。他の実験ケースにおいても同様の結果であった。

図-7は主桁中央での歪応答波形を示している。3桁に重錘が落下した場合、歪波形の立ち上がりは3桁から離れるにしたがい遅れているようである。その遅れは、2桁および4桁で 1 msec、1桁および5桁で 5 msec 程度であり、1桁および5桁の遅れが大きいようである。また、歪波形の最大値の発生時刻は、2桁、3桁および4桁に関してはほぼ同時で波形自体も同様であるが、1桁および5桁では 5 msec 程度遅れているようである。5 m 落下と 10 m 落下を比較すると、衝撃荷重による応答の継続時間が 5 m 落下では約 140 msec であるのに対して 10 m 落下では約 120 msec と短くなっている。その中の比較的大きな応答を示す時間は、5 m 落下で約 60 msec であるのに対して 10 m 落下では約 35 msec と約半分の時間になっている。また、最大応答値を示す時間は、5 m 落下では応答開始から 23 msec 程度であるのに対して、10 m 落下では 13 msec 程度とかなり早くなっている。横締めを解放した場合には、主な応答時間が約 120 msec と解放前よりも短くなり、歪の応答値は全測定点で大きくなっている。2桁および4桁に重錘が落下した場合に関しても、同様の傾向を示していた。

3.3. 主桁の曲げモーメント分布

図-8は、重錘を高さ 10 m より3桁に落下させたときの3桁の曲げモーメントのスパン方向分布である。

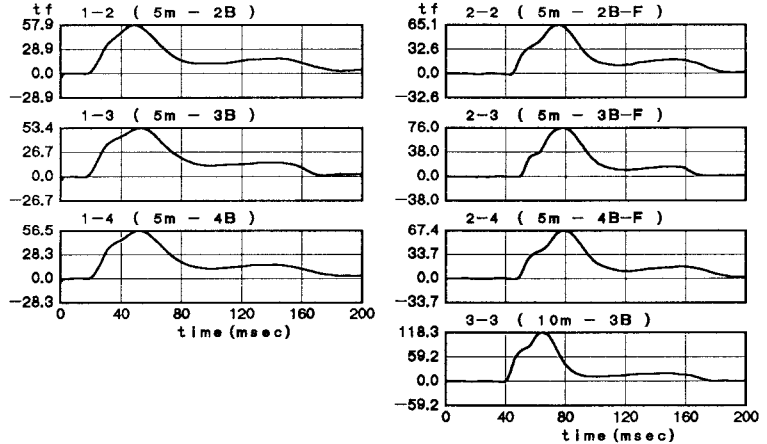


図-5 重錘衝撃力

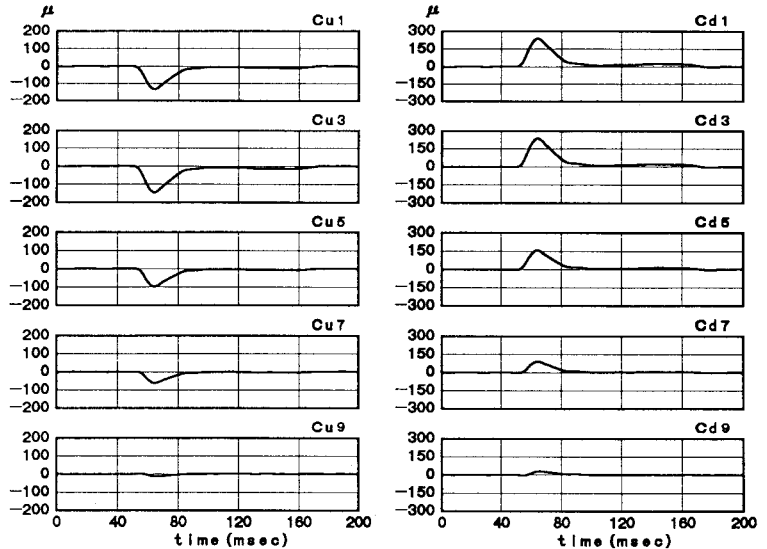
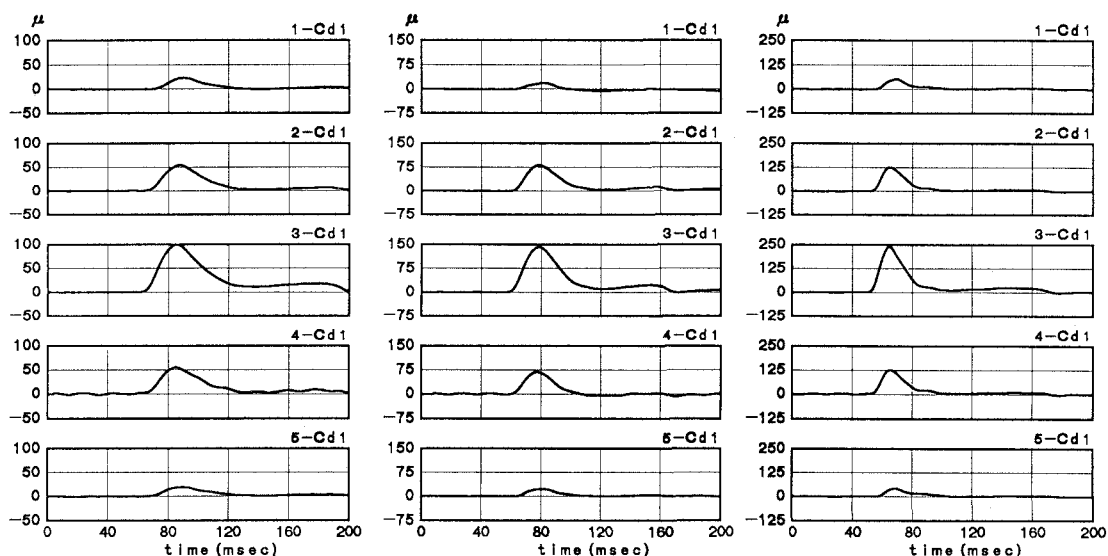


図-6 3桁の歪応答波形 (10 m 3桁落下、横締あり)



(a) 5 m 3桁落下、横締あり

(b) 5 m 3桁落下、横締なし

(c) 10 m 3桁落下、横締あり

図-7 主桁中央の歪応答波形

曲げモーメントは $E = 3.8 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$ として、上

下端筋の歪より曲率を求め算出している。図より、横衝撃を受ける梁部材が示す”衝撃により発生した応力波の先端部分が固定端のような状態を呈する”という挙動は確認することはできない。また曲げモーメントは、衝撃荷重が作用しているときに大きな応答を示し、除荷後は、跳ね返りもなく曲げの作用がなくなっているようである。このことより本実験においては、衝撃によって発生する応力波の伝播現象よりも荷重による強制振動が卓越しているものと考えられる。曲げモーメントは、桁のセンターから 50 cm の範囲でほぼ等しいが、その外側より支点までの間はほぼ直線的に減少し 0 になっており、集中

50.0 t fm/m

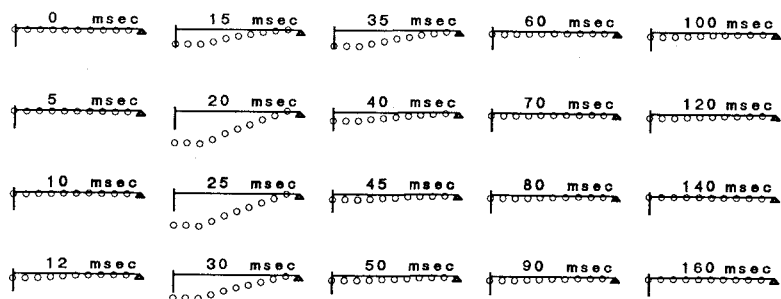


図-8 曲げモーメントのスパン方向分布図 (10 m 3桁落下、横締あり)

50.0 t fm/m

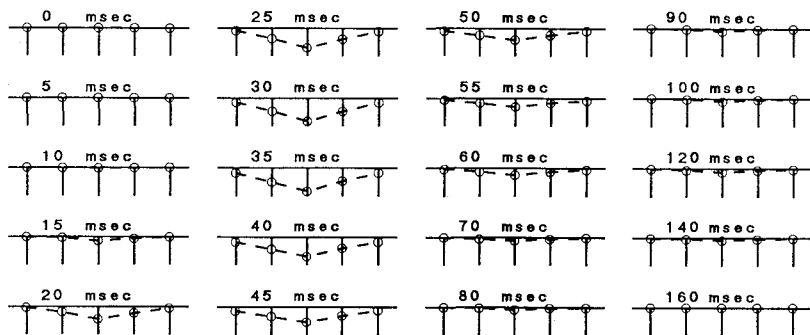


図-9 曲げモーメントの断面方向分布図 (5 m 3桁落下、横締あり)

荷重に近い状態になっているものと考えられる。

— 50.0 tfm/m

図-9および10は、重錘落下高 5 m の場合の各桁の中央の曲げモーメントを示している。3 桁に重錘が落下したときの曲げモーメントの分布は、外桁に向かうにしたがい直線的に減少している。2 桁に重錘が落下したときの分布は、2 桁でモーメントが最大となり、その他の桁では減少し、5 桁側に向かい上に凸の曲線状に減少している。また、横締めを解放した場合に関しては、曲げモーメントは大きくなるが、分布状態は横締め導入時と同様になっていた。

表-2 は、全実験ケースにおける桁中央での総曲げモーメント（各桁の曲げモーメントの総和）の最大値と、その最大値に対する各桁の最大曲げモーメントの比率を示している。

すなわち、重錘により受ける衝撃荷重の各桁の分担率を表し

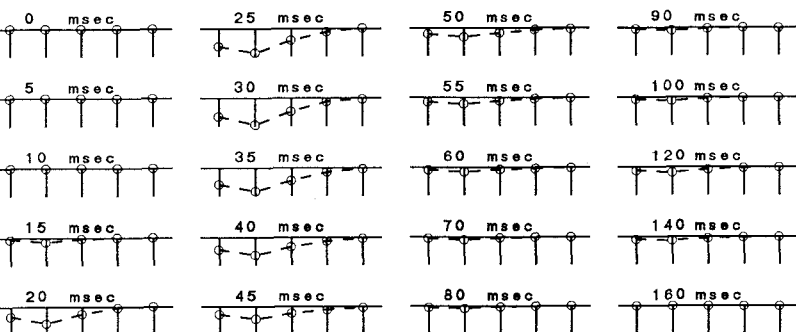
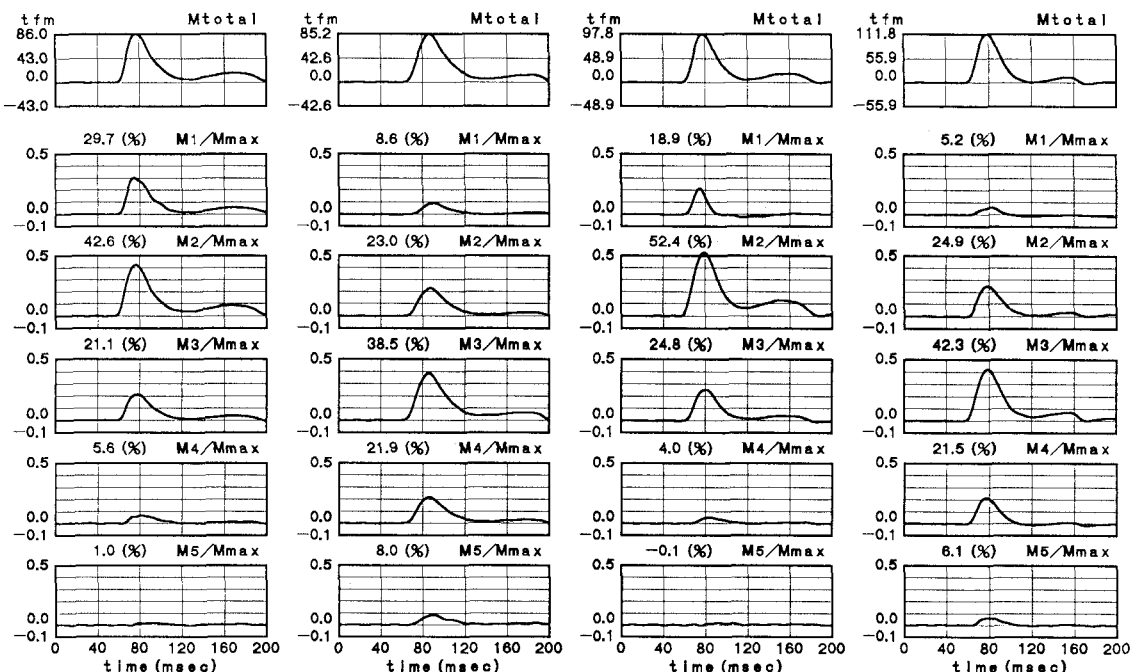


図-10 曲げモーメントの断面方向分布図（5 m 2 桁落下、横締あり）

表-2 総曲げモーメントと荷重分担率

実験 ケース	総曲げモーメント の最大値(tfm)	荷重分担率の 最大値(%)
1-2	86	42.6 (2 桁)
1-3	85	38.5 (3 桁)
1-4	81	41.5 (4 桁)
2-2	98	52.4 (2 桁)
2-3	112	42.3 (3 桁)
2-4	94	48.9 (4 桁)
3-3	194	40.3 (3 桁)



(a) 2 桁落下、横締あり (b) 3 桁落下、横締あり (c) 2 桁落下、横締なし (d) 3 桁落下、横締なし

図-11 総曲げモーメントと荷重分担率（5 m 落下）

ている。また図-11は、 $\frac{1}{2} \times 2.0 \text{ tfm/m}$

落下高さ 5 m の場合の
総曲げモーメントと荷重
分担率の経時変化である。

3 桁に重錘が落下したと
きの総曲げモーメントは、

10 m 落下の場合 194

tfm、5 m 落下の場合

85 tfm であり、重錘衝

撃力と同様に 10 m 落下

では 2 倍以上の応答値と

なっている。また、横締

めを解放すると 112 tfm

になり、重錘衝撃力と同

様に総曲げモーメントも

大きくなっている。重錘

が落下した桁の横締め導入時の荷重分担率は、3 桁に重錘が落下した場合、10 m 落下で 40.3 %、5 m 落下で 38.5 % であり、落下高が高いと荷重が集中する傾向にあるようである。2 桁および 4 桁に落下した場合は、それぞれ 42.6 % および 41.5 % と荷重分担性状が若干悪化しているようである。しかしながら、横締め導入時の荷重分担率は、落下高および落下位置によらず 40 % 前後でほぼ一定しているといえる。横締め解放時に、3 桁に重錘が落下した場合、荷重分担率が 42.3 % と若干大きくなっているが、横締め導入時に近い値といえる。しかしながら、2 桁および 3 桁に落下した場合は、52.4 % および 48.9 % に 7 ~ 9 % 程度増加し、荷重の分担性状が悪化する。

3.4. フランジの曲げモーメント

図-12 は、重錘を高さ 5 m から 3 桁に落下させた場合の各時刻のフランジ付け根の曲げモーメントの分布を示している。横締め導入時に関しては、3 桁のフランジに比較的大きな正の曲げモーメントが発生し、1 桁、2 桁および 4 桁に負の曲げモーメントが発生している。T 桁のフランジ上に分布荷重が作用した場合、荷重によりフランジに負の曲げモーメントが作用することになるが、多主桁の場合には荷重によって受ける負の曲げと、各桁の変位差と横締めによるフランジ端の回転の拘束によって発生する曲げがあり、3 桁では後者による正の曲げモーメントが大きくなり、そのような結果となったものと思われる。横締めを解放した場合には、変位差と回転の拘束によって発生していた曲げ小さくなることにより、3 桁に発生していた正の曲げモーメントがほぼ 0 になり、2 桁および 4 桁の負の曲げモーメントが約 2 倍になったものと考えられる。

4. ま と め

PC 製落石覆工の耐衝撃設計に関する基礎的資料を得ることを目的として、緩衝材として敷砂を用いた場合の PC 多主桁の衝撃実験を 3 tf の重錘を自由落下させることにより行い、重錘の加速度より求めた重錘衝撃力、桁の応答歪、応答歪より算出した曲げモーメントにより検討を行った。その結果、桁の衝撃挙動、桁の荷重分担率、フランジの曲げ挙動等が明らかとなった。また、フランジ横締めの有無による挙動の差異も明らかとなった。

参考文献

- 1) 日本道路協会：落石対策便覧、日本道路協会、1983。

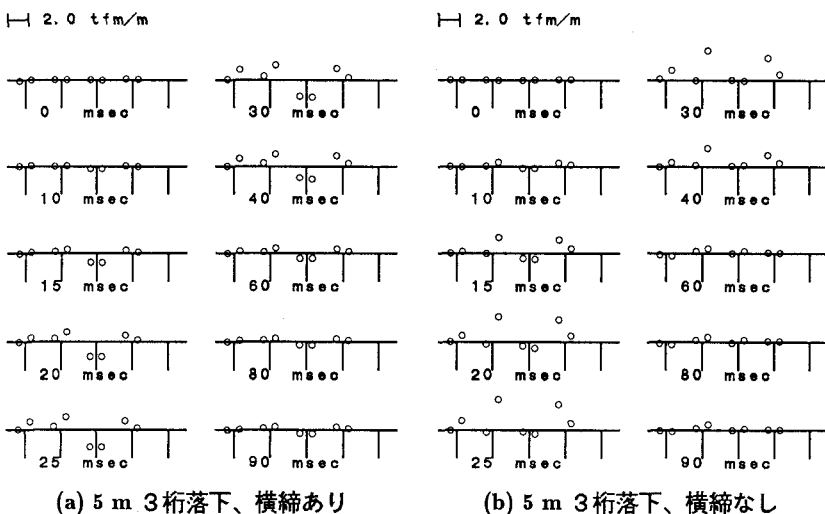


図-12 フランジの曲げモーメント