

(16) P R C 桁の衝撃載荷時の挙動について

建設省土木研究所 構造橋梁部 大塚 久哲
建設省土木研究所 構造橋梁部 佐藤 弘史
建設省土木研究所 構造橋梁部 ○長尾 彰洋
(財) 先端建設技術センター 横山 功一

1. まえがき

現在のロックシェッドは使用材料の面からは、P C 構造、R C 構造及び鋼構造に分類される。一般には、P C 構造と R C 構造が広く用いられているが、P C 構造は R C 構造に比べ、施工性に優れるものの一般には靱性性能で劣るといわれている。

本研究では、ロックシェッドの衝撃耐力の増加を図るための基礎研究として、施工性の面で優れた P C 桁と耐衝撃性の面で靱性の高い R C 桁の両方の特性を備えた P R C 桁に着目し、同桁模型に対して静的載荷試験および衝撃載荷試験を行った。

本実験により、P R C 桁における静的耐力と衝撃耐力の関係、エネルギー吸収性能等に関して、いくつかの知見が得られたのでここに報告する。

2. 試験桁の諸元と材料定数

2. 1 試験桁の諸元

図-1 に示すような諸元を有する P R C 桁を 4 体製作し、内 1 体を静的載荷試験 (No. 1) に、他の 3 体を衝撃載荷試験 (No. 2~4) に用いた。試験桁は、衝撃試験載荷装置の機能を考慮して以下のように決定した。

- 1) 試験桁の断面諸元は矩形断面 (縦 300mm × 横 200mm) とし、桁長 4 m (支間長 3 m) とする。
- 2) 主筋に相当する鋼材は、P C 鋼より線 (SWPR7A9.3mm 7本より) を内側に配置し、同一平面内で組立鉄筋としての異形鉄筋 (SD295A・D10) を外側に配置する。
- 3) コンクリートの設計基準強度は 400kgf/cm² とする。

以上の試験桁に対し、引張鋼材の降伏を破壊と考えた推定破壊荷重は 6.73tf と計算される。

2. 2 材料定数

試験桁の 7 日強度の平均値は 421kgf/cm² であった。また、試験桁の実験時の圧縮強度と弾性定数を調べるためにコンクリート圧縮強度試験を行った。(表-1 に試験結果を示す。) これは各試験桁に対して 3 本ずつの円柱形供試体を製作して行った試験結果の平均値である。圧縮強度としては、平均値で 472~550 kgf/cm² であった。

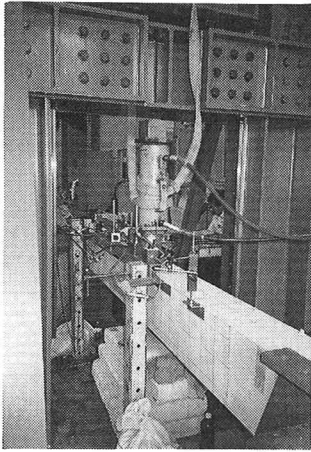


写真-1 静的荷重試験

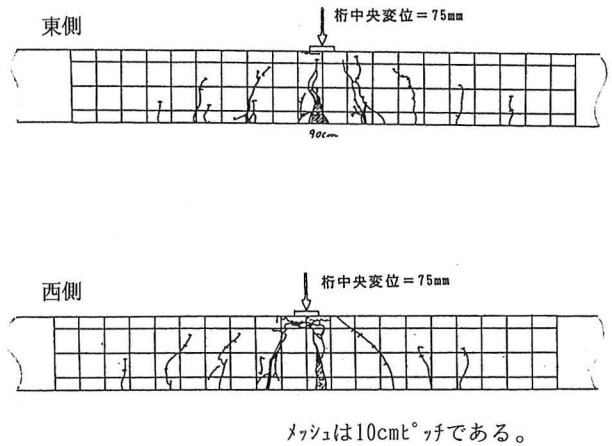


図-2 最終クラック図 (静的荷重試験 試験桁No.1)

4. 衝撃荷重試験

衝撃荷重試験は、試験桁3体に対し、重錘落下型衝撃荷重試験装置を用いて0.5tの重錘の落下高さを増して破壊するまで繰り返し荷重した。(写真-2に試験桁の設置状況を示す。)2体目、3体目の初期落下高さは、前の桁の最終落下高さを参考にして決定した。

実験の結果は、1体目では、落下高さH=10cmで最初にクラックが生じ、H=30cmになると桁上面からも発生した。そしてH=80cm以上になると新たなクラックの発生は認められずクラック幅のみの増加が見られた。H=90cmでP C鋼より線が2本とも破断し、試験桁は下に敷いたクッション材に落下した。2体目、3体目では、最初の荷重でクラックが入り H=90cm、85cmでP C鋼より線が破断した。最終クラック図を図-3に示す。



写真-2 衝撃荷重試験

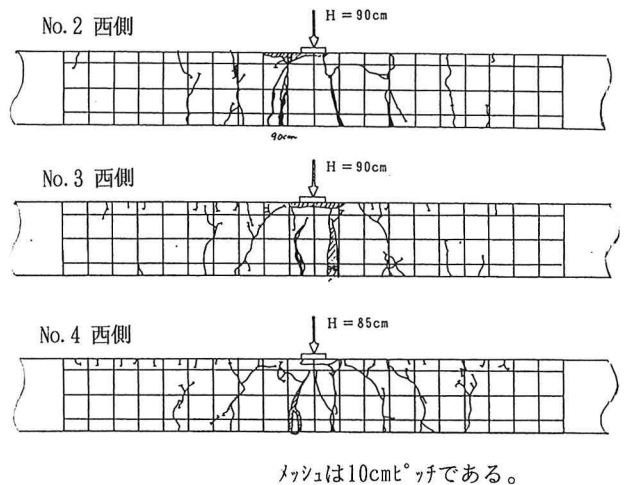


図-3 最終クラック図 (衝撃荷重試験)

次に落下高さと最大変位の関係（図-4参照）を見ると最終荷重以前では、処女荷重の落下高さに関係なく落下高さに対して直線的に変位が増加していった。終局に達した時には、クラックの本数は増えず、クラック幅と変位の増加が大きくなった。なお、試験桁No.2は落下高さ90cmで大きく変形し、桁はクッション材位置で留められた。また、試験桁No.3も落下高さ90cmで大きく変形し、変位計の測定範囲外となった。試験桁No.4は、試験桁No.2,3の結果をふまえて、落下高さを85cmとしたため、測定結果を得ることができた。

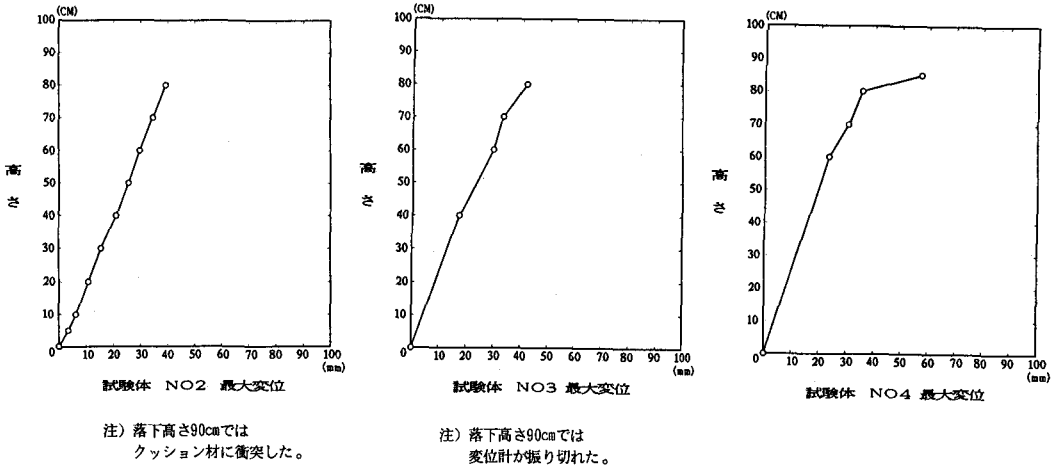


図-4 落下高さと最大変位の関係

5. 静的荷重試験と衝撃荷重試験との比較

5.1 荷重と桁中央変位の関係

図-5はロードセルで測定した荷重と桁中央変位の関係を示したものである。クラックは静的荷重で4.0tf、衝撃荷重では試験桁No.2より衝撃荷重4.4tf程度で発生すると推定できる。

同図において、処女荷重時の結果を結んだ線（図中の破線）を衝撃荷重時の荷重-変位包絡線とすることができる。すなわちこの包絡線は健全な桁に初めて衝撃力が作用するときの荷重-変位関係を示すものと思われる。静的荷重の最大荷重である約7.5tfまでは、静的荷重、衝撃荷重共に試験結果が包絡線にほぼ一致している。

衝撃荷重試験では、どの試験桁においてもロードセルによる衝撃荷重が約11tf（落下高さ70cm）のとき、桁中央変位が約35mmとなるが、その後は破壊状況によって、荷重、変位の値に差がでている。鋼材の破断時期は、静的荷重、衝撃荷重に関わらず、変位が約60mmの時に生じている。

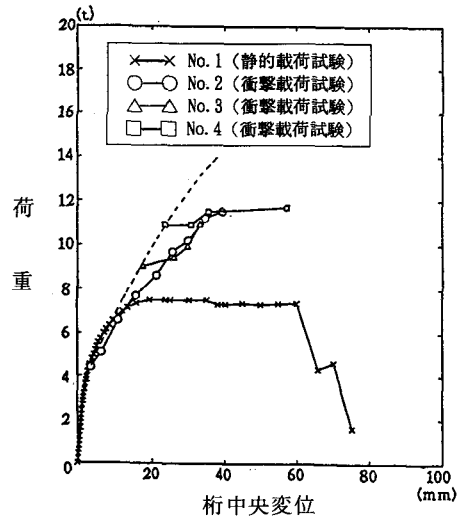


図-5 荷重と桁中央変位の関係

5. 2 荷重とひずみの関係

図-6は、荷重とひずみゲージ(S-2, 7, 8, 図-1参照)より測定したひずみの関係を示したものである。試験桁No.2では、荷重の増加と共に徐々にひずみが大きくなり、低荷重時には静的載荷時の増加状況と比較的似ている。

試験桁No.3, 4では、試験桁No.2に比べて大きな荷重となるが、荷重が大きくてもひずみの値がそれに伴って大きくなるとは限らないことが分かる。これは処女載荷の場合、剛性低下が生じていないからであろう。

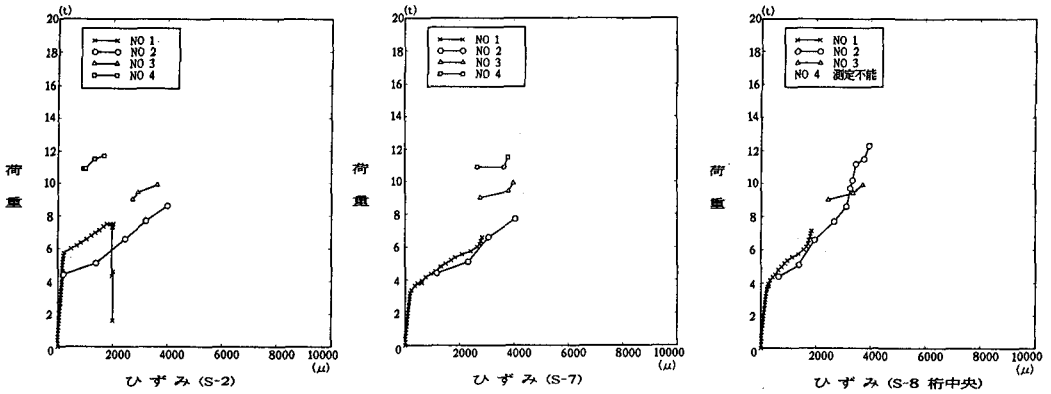


図-6 荷重とひずみの関係

6. 衝撃吸収エネルギーと位置エネルギーの関係

衝撃吸収エネルギーは、荷重(ロードセル値)ー変位曲線が描くループの面積として求めた。図-7に示すとおり、衝撃吸収エネルギーは位置エネルギーの60~64%となり、どの試験桁もほぼ直線となる。

ただし、載荷回数が少ないNo.3, No.4桁では、落下高さが増加するにつれて吸収エネルギーの比率が増加していることがわかる。これはスパン中央部の塑性変形によって衝撃エネルギーが速やかに吸収されていることによるものと思われる。

参考として計算より桁のエネルギー分担率を求めてみた。重錘が速度 v_0 で桁と衝突した後、一体となって速度 V で運動するものとするれば、衝突による運動エネルギーの損失は

$$\frac{1}{2} m_w v_0^2 - \frac{1}{2} (m_w + m_s) v^2$$

で表される。ここで桁のエネルギー分担率を γ_0 とすると

$$\gamma_0 = \frac{1}{2} (m_w + m_s) v^2 \bigg/ \frac{1}{2} m_w v_0^2$$

で定義できる。ここで運動量保存の法則より、

$$v = \frac{m_w}{m_w + m_s} v_0 \text{ と考えて良いから } \gamma_0 = \frac{m_w}{m_w + m_s} \text{ となる。本例で、} m_s \text{ は桁長の}$$

1/2と考えると γ_0 を計算すると

$$\gamma_0 = \frac{500}{500 + 225} = 69.0\%$$

m_w : 重錘の質量 (500kg)

m_s : 桁の質量 (20cm × 30cm × 300cm × 2.5kg/cm³ / 2 = 450 / 2 = 225kg)

となる。この値は、No. 4桁の最終荷重時のエネルギー吸収率（73%）に最も近い値であり、桁の最終破壊を考える場合には、この簡易式によってエネルギー吸収率が推定できると言えよう。

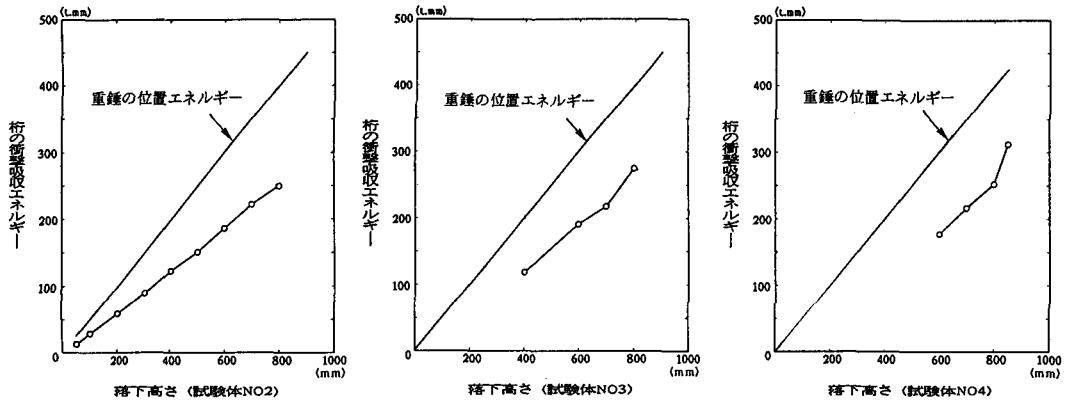


図-7 衝撃吸収エネルギーと位置エネルギーの関係

7. まとめ

今回のP R C桁の静的荷重試験から、次のことが明らかになった。

- (1)クラックは、4.0tf程度で発生し、最大荷重は約7.5tfであった。これは実際のコンクリートの圧縮強度を考慮した理論値とほぼ一致する。
- (2)P C鋼材の破断は桁の中央変位が約60.0mmで発生した。これは、径間長の50分の1である。

また、衝撃荷重試験から次の点が明らかになった。

- (1)クラックは、静的荷重と同様4.0tf程度で発生したが、最大荷重は約12tfであった（静的荷重の1.6倍）。
- (2)衝撃荷重の場合、P C鋼より線の残留ひずみが圧縮となる場合が生じた。
- (3)衝撃吸収エネルギーや最大変位は、桁がある程度健全であれば、落下高さの増加に従って直線的に増加していく。
- (4)塑性変形をする桁の衝撃エネルギー吸収率は、桁と重錘が衝突後一体となって挙動すると考えて誘導した簡易式から得られる値に近い値であった。

【参考文献】

- 1)大塚久哲他 : 衝撃荷重を受けるP C・R C桁の破壊時挙動と変位照査法について、構造工学論文集 Vol. 38A、1992. 3、pp1543-1551
- 2)園田恵一郎 : 落石覆工の設計法についての一提案、構造工学論文集 Vol. 39A、1993. 3、
- 3)園田佳巨他 : ひずみ速度効果を考慮したP Cはり部材の動的曲げ耐力と変形性能、構造工学論文集 Vol. 38A、1992. 3、pp1455-1465