

16m ダブルTスラブの曲げ試験報告

青 山 博 之

1. ま え が き

ダブル T スラブは大スパンの床版をプレキャスト工法で施工するために用いられるもので、わが国でもすでに多くの施工例がある。またその性質も、坂博士、中島氏等の研究*により、次第に明らかになってきている。今回ハリスKK小田原工場の屋根版に、スパン15.5mのダブルTスラブが用いられることになったが、この形式のスラブとしては今までになく大スパンであり、また緊張材を曲げ上げるなど構造的に新しい点があるので、強度試験を行なってみる必要があった。ちょうど昭和34年秋、東京大学工学部に大型構造物試験機が完成し、大スパンの構造物の曲げ試験を行なうことが容易になったので、その強度試験がピー・エス・コンクリートKKから東京大学に依頼され、工学部梅村助教授の指導のもとに筆者の手で実物試験が行なわれた。

設計監理：日建設計工務 KK

製作・架設：ピー・エス・コンクリートKK

試験場所：東京大学工学部総合試験所大型構造物試験室

試験期日：昭和35年3月22日、23日および25日

実験は、まずスパン方向に8点集中荷重を加え、実際の使用状態のモーメント分布に近い応力状態で曲げ試験

を行なった。これを実験Iと称する。この段階では加力装置の関係で供試体に変形を与えることができなかった。そこで次にスパン方向に2点集中荷重を加え、供試体に変形を与えてみた。しかし結局は1m近い大変形を起しても供試体は破壊せず、プレストレス部材のねばり強さを改めて認識させられたのであった。

2. 供 試 体

この実験の目的は、設計時に仮定されたきれつ、および破壊に対する安全率を、実際の製品について検定するとともに、曲げを受けるダブル T スラブの応力、変形等に関する特性を調査することである。

そこで供試体としては、工場で生産されたダブルTスラブの製品のうち一枚を使用し、スパン、荷重点などは必ずしも実際の使用状態に合わせることなく、実験に好都合のように決めることにした。

2.1 寸法および断面の諸常数

供試体寸法を図-1に示す。全長15.74m、フランジ巾115cm、全丈60cmである。

緊張材は10.8φ 7本よりストランド10本を使用し、プレテンション方式により緊張力を導入する。ストラン

表-1 断面の諸常数

名 称	記号	数 値	単 位
断 面 積	A	1 785	cm ²
重心位置 (上縁より)	y ₁	21.14	cm
(下縁より)	y ₂	38.86	cm
断面 2 次モーメント	I	593 200	cm ⁴
断面係数 (上 縁)	Z ₁	28 100	cm ³
(下 縁)	Z ₂	15 300	cm ³
回転半径	r	18.23	cm

ドは図-1に示すように、全長の中央から左右2mの点で曲げ上げられており、この位置にはストランド曲げ上げ用デフレクターが埋込んである。断面に関する諸常数を表-1に示す。

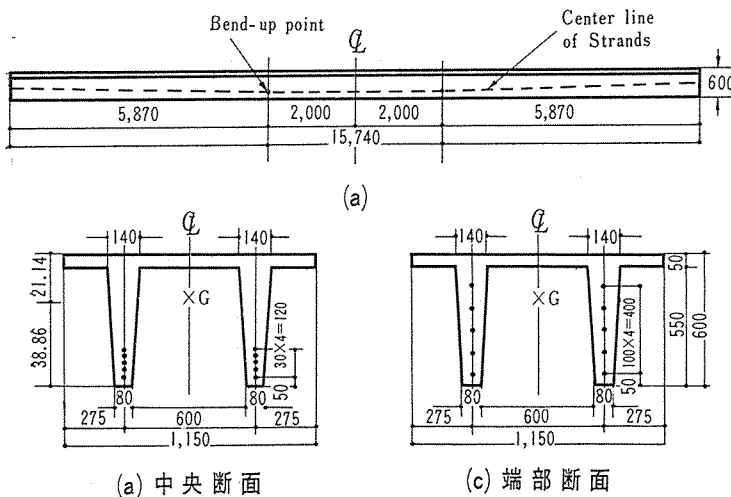
2.2 設 計 条 件

このダブルTスラブ製品の設計条件を表-2

に示す。

このダブルTスラブは、実際の使用状態におけるスパンは表-2に示すように15.5mである。そこで、この値に対して設計荷重による中央点での曲げモーメントを

図-1 供試体の寸法



* 坂 静雄・六車 熙：3/8" 7-Wire Strand 使用プレテンション型PC梁の実験的研究，セメント技術年報，XII，11(1958)
 中島儀八・他：3/8" 7-Wire Strand を使用せるプレストレストコンクリート，ダブルT型床版の実物実験，材料試験，VIII 69.(昭 34.6)

表-2 設 計 条 件

項 目	数 値	単 位
ス パ ン	15.5	m
荷 重	版 自 重	0.43 t/m
	仕 上 荷 重	0.162 t/m
	活 荷 重	0.12 t/m
コンクリート	4週圧縮強度	450 kg/cm ²
	許容圧縮応力度	157 kg/cm ²
ワイヤ・ストランド	引張強度	12.4 t
	(10.8φ, 1本当り)有効緊張力	6.45 t
安 全 率	初きれつに対する値	1.3 以上
	(全荷重に対して)破壊に対する値	2.0 以上

算出すれば、

$$M = wl^2/8$$

であるから

版自重による曲げモーメント = 12.90 tm
 仕上荷重による " = 4.86 tm
 活荷重による " = 3.60 tm

となる。

実験における供試体のスパンおよび加力方法が、実際の使用状態とは必ずしも一致しないので、実験結果はすべて中央点での曲げモーメントで比較してゆき、安全率などもモーメントで検定してゆくことにする。

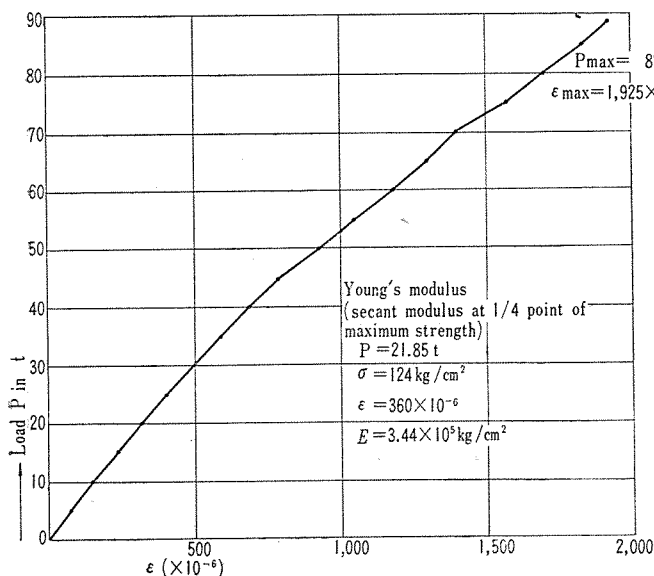
2.3 材料および製作方法

セメントは日本セメントKKの早強ポルトランドセメントを使用した。

砂は酒匂川産、最大粒径 5 mm、粗粒率 2.93 のものを使用した。

砂利は酒匂川産、最大粒径 20 mm、粗粒率 7.14 のものを使用した。

図-2 コンクリートの応力度—ひずみ度曲線



ストランドは住友電工KKの10.8φ 7本よりストランドで、その引張強度は 12.95 t、降伏点 (0.2%永久伸び応力が慣用であるが、住友電工KKの試験成績書により、ここでは1%全伸び応力をもって表わす) 11.50 t、伸び (635 mm) は 6.5% である。

コンクリートの調合は、単位水量 169 kg、単位セメント量 470 kg、単位細骨材量 806 kg、単位粗骨材量 1050 kg、水セメント比 36%、スランプ 1~3 cm である。

コンクリート打ちは3月6日に行ない、打込み後、5時間から蒸気養生を行ない、その温度は打込み後 18時間までは約 30°C、それ以後は 50°C であった。打込み後 26 時間で通気を終了した。

実験時 (材令 16 日) におけるコンクリートの諸性質は、シリンダーテストによれば表-3のとおりである。

表-3 実験時のコンクリートの諸性質

項 目	数 値	単 位
圧 縮 強 度	512	kg/cm ²
ヤ ン グ 係 数	3.50×10^5	kg/cm ²
引 張 強 度	46.6	kg/cm ²

コンクリートの圧縮応力度—ひずみ度曲線の一例を図-2 に示す。

3. 実験 I (8 点集中荷重実験)

供試体は、実際の使用状態においては、等分布荷重を受けるわけであるが、この状態にできるだけ近づけるため、トーナメント方式による8点集中荷重実験を行なった。

3.1 実験方法

実験中の模様は写真-1を参照されたい。

スパンは、実際の使用状態では 15.5 m であるが、実験では、安全を考えて 14.5 m とし、両支点はローラー支持とした。

荷重は2つのウェブの中心線上にそれぞれ8点の集中荷重を加えた。中央集中荷重をこれらの8点に等分するため、写真-1 および図-3に示すように4段の重ねバリーを用いた。各ハリの間には写真-2のようなローラーを挿入し、また加力点には写真-3のようなボールを使用した。荷重が比較的小さいので、大型構造物試験機の動力計は誤差が大きくなるため、これを用いず、荷重の大きさは最上段のBバリーの中央にのせたオイルジャッキに付属するあらかじめキャリブレーションしておいた5 in のプレッシャーゲージで測定した。

供試体の変形測定は次のとおりである。すなわち図-4のA, B位置には竹のスケールを貼布して望遠鏡でたわみを読み、A, B, C, B', C' および

写真-1 実験状況 (8点集中荷重)

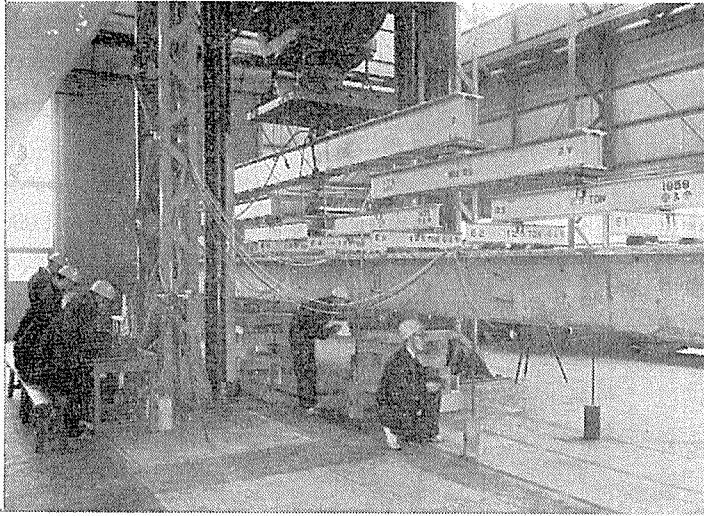


写真-2 重ねバリのローラー

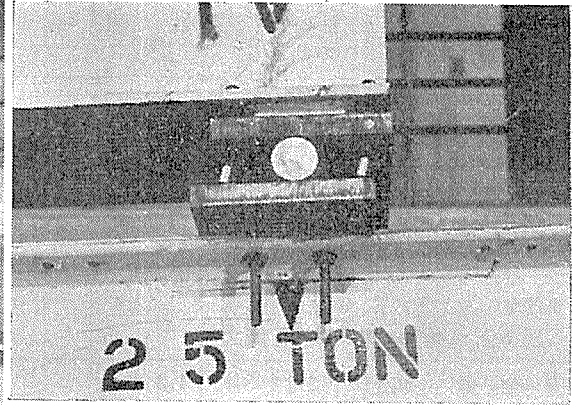


写真-3 加力点のボール



図-3 加力方法 (実験 I)

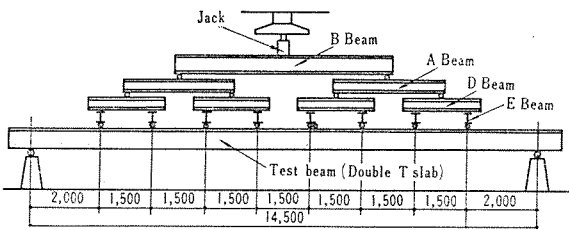
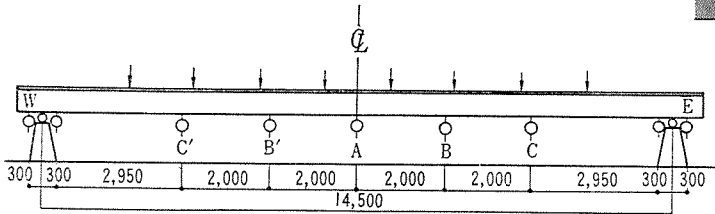


図-4 変形の測定位置



支点の両側で、ダイヤルゲージによりたわみを測定した。

また A, B, C 断面には各 14 点、B' C' 断面には各 4 点にストレインゲージを貼布し、コンクリート表面のひずみ度を測定した。

3.2 自重の取扱い方

この実験では設計荷重あるいは終局荷重に対して、スラブ自重および加力装置自重が、かなり大きい比率になる。そこでこれらの自重をも荷重の一部と考えなければならぬ。

スラブ自重は等分布荷重であるが、実験で加える荷重は 8 点集中荷重である。これらにより生ずるモーメント図の間には若干の差がある。そこで両者の最大モーメントが等しくなるように、等分布荷重を 8 点集中荷重に換算すると、以後の荷重の取扱いが簡単になって便利である。

換算スラブ自重は 5.4 t、これに加力装置自重を加える

と 9.0 t となる。

一方設計荷重も、最大モーメントが等しくなるような 8 点集中荷重に換算しておくとし、全設計荷重は 10.05 t となる。きれつおよび破壊に対する安全率を検定するときは、この

換算設計荷重を用いることにする。

3.3 荷重および除荷の順序

次にしめす順序で実験を行ない、たわみは約 1 t おき、ストレインは約 2 t おきに測定を行なった。

5.4 t (自重) → 9.0 t (加力装置をのせる) → 16.0 t (初きれつ) → 9.0 t (除荷) → 23.2 t (塑性化進行) → 9.0 t (除荷) → 25.2 t (塑性化進行) → 5.4 t (除荷、加力装置も除く) → 9.0 t (加力装置をのせる) → 28.0 t (最大荷重、塑性フロー) → 9.0 t (除荷) → 27.2 t (先の最大変形と同じところまで変形) → 5.4 t (除荷、実験一応終了)

最大荷重は 28.0 t であって、この値は荷重-たわみ曲線から見てほぼ終局荷重と考えられるが、供試体は破壊に到らなかった。このときのたわみは中央で 21.65 cm で、加力装置に変形が起って、これ以上の荷重が危険となったため一たん実験を終了した。最大変形時の状況を写真-4 に示す。後に加力装置を 2 点集中荷重に変更して再実験を行なった。この実験に関しては後述する。

4. 実験 I の検討

4.1 弾性範囲

図-5 に荷重-たわみ曲線の一例を示す。これはスパン中央のたわみを竹のスケールで測定した結果である。

同図にはたわみの弾性理論線も記入してあるが、これはコンクリートの全断面を有効と考え、コンクリートのヤング係数としてはシリンダーテストによる値

$$E = 3.50 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$$

を用いて算出したものである。実験と比較すると若干の誤差はあるが、きれつ発生以前の段階の変形は弾性理論でほぼ十分に解析できることがわかる。

きれつが発生し、塑性化が進行するにつれて、たわみが増大し剛性が低下してゆく様子は、図-5 に見るとおりである。

4.2 初きれつ

実験では南側ウェブ中央下端に 13.2 t で、北側ウェブ

写真-4 最大変形状況 (8点集中荷重)

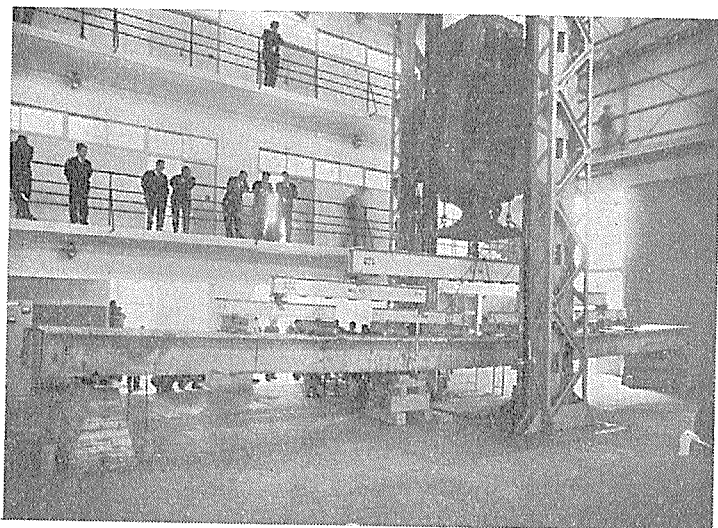
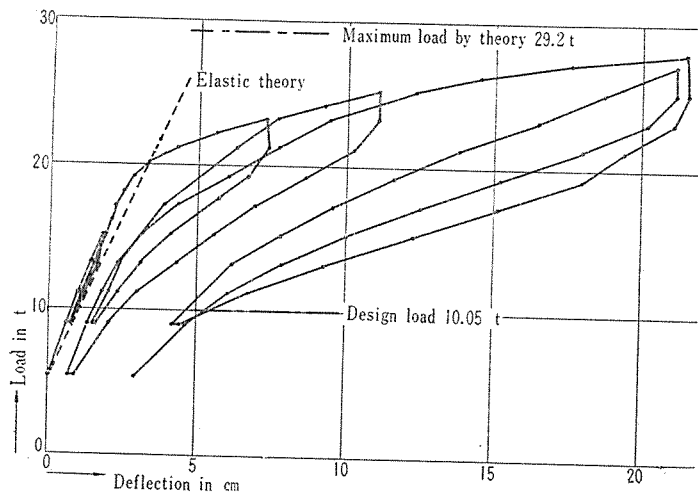


図-5 荷重-たわみ曲線 (中央たわみ)



中央下端に 14.2 t できれつが認められた。

きれつモーメントを理論式

$$M_c = (c\sigma_t + \sigma_{e2})Z_2$$

M_c : きれつモーメント

$c\sigma_t$: コンクリートの曲げ引張強度

σ_{e2} : 下縁におけるプレストレス

Z_2 : 下縁における断面係数

から算出してきれつ荷重を求めると 13.6 t となる。従って実験値は理論値とよい一致を示していることがわかる。

また設計荷重は 10.05 t であるから、安全率は基準値より大きい。

4.3 終局荷重

実験における最大荷重 28.0 t は、図-5 の荷重-たわみ曲線から見ても、ほとんど終局荷重に近いと考えられるが、供試体は破壊には到らなかった。

これに対し、ストランド引張力を破断強度に等しくとり、圧縮側コンクリート応力度を圧縮強度とし、その分布を矩形分布と仮定すると、終局荷重の理論値は 29.2 t となる。

このように、実験による最大荷重は理論値より小さい。最大荷重時に供試体はなお健全で、ストランドも破断せず、圧縮側コンクリートのクラッシュも起っていないことを考えれば、これは当然である。ただし上記の理論値は考えられる最大の値であって、実際には危険側の誤差を持つ可能性があることは注意しなければならない。

設計荷重に対する安全率は $28.0/10.05 = 2.78$ 以上である。

最大荷重時には供試体には写真-5 に示すように多数のきれつが発生したがそれらはスパンの中央部分に広く分布しており、ストランドの曲げ上げ点付近に集中する傾向は全くなかった。従って曲げ上げ点に埋め込まれているストランド曲げ上げ用デフレクターブロックの影響は、全く見られないといってよい。

4.4 スラブ表面ひずみ分布

スラブ表面および裏面のひずみ分布を、ストレインゲージによる測定結果から画くと図-6 のようになる。

これによると、スラブはその全体にわたってほぼ均等に圧縮力を受けており、換言すればスラブは、その全断面が有効であると考えられる。

4.5 残留変形

試験に際して、数回のくり返し載荷を行なって復元力を調査した。各くり返しの最大荷重と、

写真-5 最大荷重時の供試体のきれつ



図-6 スラブ表面ひずみ分布

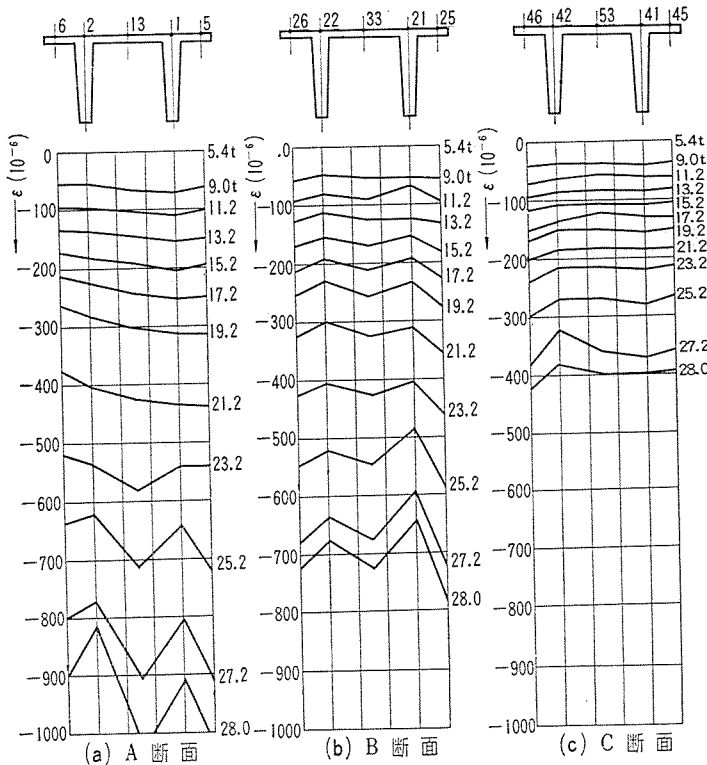
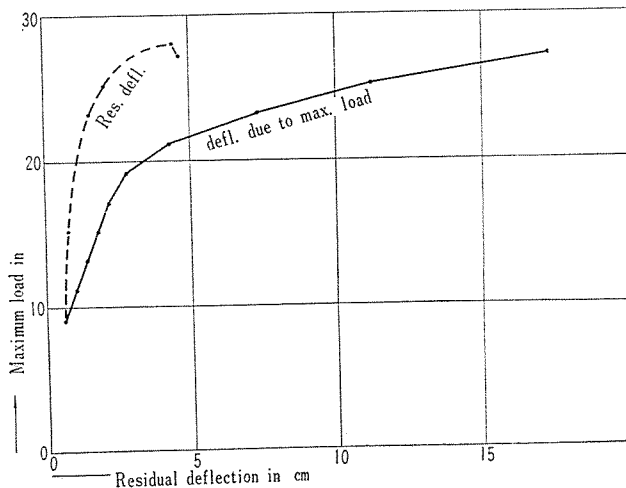


図-7 最大荷重と9t時の残留たわみとの関係



9.0 t (自重および加力装置の重量が加わった状態)に荷重を戻した場合の残留変形とをプロットしたのが 図-7 である。同図には、最大荷重時の変形も記入してある。

これを見ると、25 t 程度までの載荷では残留変形は 2 cm 以内であるが、最大荷重がこれを越すと、残留変形は急激に増大する。しかし 28 t まで載荷した場合の最大変形 21.65 cm に対し、残留変形はわずかに 4.45 cm であり、また加力装置を除けば変形はさらに減少するのであるから、復元力は非常に大きい。このように大きな弾性的性質を持っていることは、プレストレス部材の一つの特徴である。

5. 実験 II (2点集中荷重実験)

前節までに述べた実験においては、荷重を 16 点に等分するため 4 段の重ねバリを用いたが、供試体の変形にこの加力装置の変形が追従することができなかった。そこで、さらに大変形を供試体に加えるため、2点集中荷重用の加力装置を組立てて、実験を行なった。

5.1 実験方法

スパンは前と同様 14.5 m とし、中央 4 m の 2点集中荷重を加えた(図-8 参照)。荷重の大きさは前と同様 B バリ中央のオイル ジャッキを利用して測定した。

なお荷重点はちょうどストランドの曲げ上げ点と一致している。従って荷重点間におけるプレストレス、ストランド位置などは等しい。

供試体の変形は中央たわみを竹のスケールとトランシットで測定するほか、スラブ表面の数点にストレインゲージを貼布して、コンクリートの圧縮ひずみを測定した。

5.2 自重の取扱い方

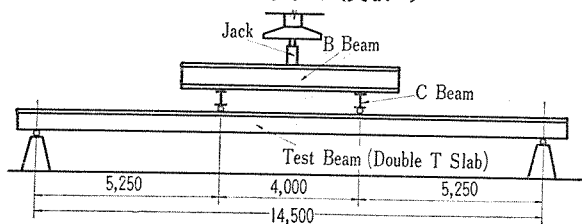
スラブ自重(等分布荷重)を、最大モーメントが等しくなるように、2点集中荷重に換算すると 4.3 t、これに加力装置の重量を加算すると 6.6 t である。また換算設計荷重は 8.13 t である。

5.3 載荷および除荷の順序

4.4 t (自重) → 6.6 t (加力装置をのせる) → 22.5 t (たわみ約 34 cm) → 6.6 t (除荷) → 23.5 t (たわみ約 59 cm) → 6.6 t (除荷) → 24.3 t (たわみ約 94 cm) → 6.6 t (除荷) → 4.4 t (実験終了)

たわみが 90 cm を越えるまで載荷しつづけたが、ついにストランドの破断もコンクリートのクラッシュも起らず、ただきれつ巾が増大してたわみが増すばかりであった。スパン中央が床に接触

図-8 加力方法 (実験II)



しそうになったので実験を中止した。最大変形時 (荷重 24.3 t, 中央たわみ約 94 cm) の様子を写真-6 に示す。また実験終了後の供試体の形状を写真-7 に示す。

6. 実験 II の検討

6.1 終局 荷重

図-9 に荷重-中央たわみ曲線を示す。この図は実験 II の最初の変形状態をたわみの原点にとっている。従って処女状態からのたわみを求めるには、この図のたわみに実験 I の最終残留変形約 3.0 cm を加えればよい。

実験 II における最大荷重は 図-9 中に示したように、24.3 t であった。これに対し終局荷重の理論値は 23.6 t である。

先の実験 I とは異なり、今回は最大荷重が理論による終局値を若干超過した。おそらく断面の応力分布はほとんど終局の状態に達しており、供試体の大変形によるアーチ作用も加わって理論値を越える荷重にたえたものと

写真-6 最大変形状況 (2 点集中荷重)

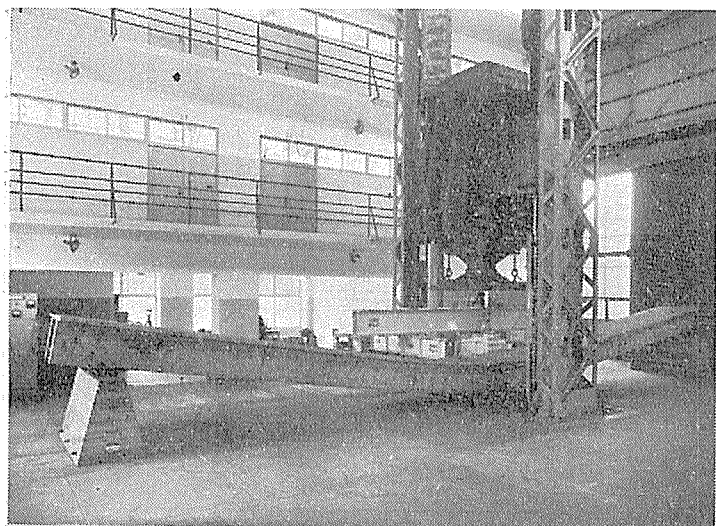


写真-7 実験終了後の供試体

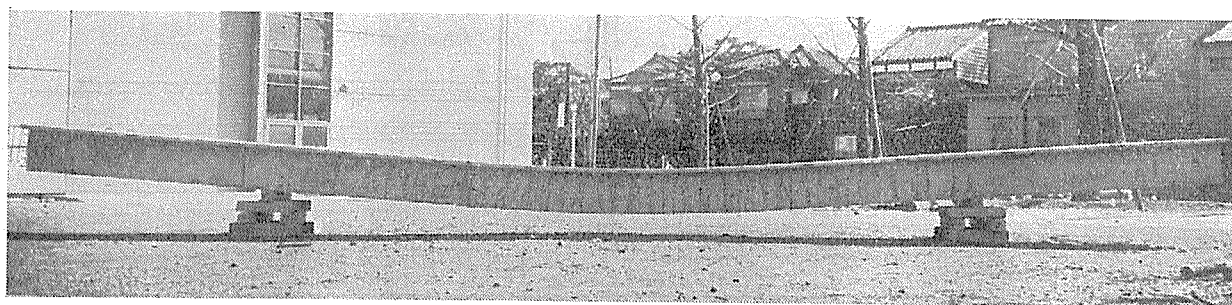
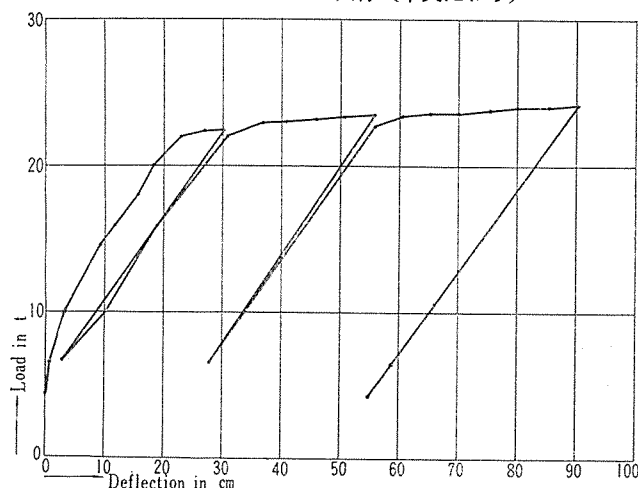


図-9 荷重-たわみ曲線 (中央たわみ)



思われる。

6.2 スラブ表面のひずみ度

ストレイン ゲージによる測定では、スラブにはやはりほぼ均等に圧縮力が作用している。

最大荷重 24.3 t のときには、スラブ表面の圧縮ひずみ度は 0.2% を超過している。コンクリートの圧縮試験結果によると、もうすでに圧縮強度に達しているはずであるが、供試体ではクラッシュは全く見られなかった。

6.3 復元力

図-9 に示したように、荷重が 22 t を越してからは、荷重の増大はきわめて緩慢になる。この段階で、数回荷重を除いて復元力を検査した。除荷によって戻る変形は全体の変形が増してもあまり変わらず、ほぼ一定である。換言すれば変形が増大しても、復元力はほぼ同一であるということが出来る。

7. 結 言

この実験の結果を要約して次に示す。

- (1) 設計荷重のきれつに対する安全率は平均 1.36 であり、基準値 1.3 を上回っている。
- (2) 設計荷重の破壊に対する安全率は 2.78 以上であり、基準値 2.0 を上回っている。