

滞 米 研 究 報 告

—Lehigh 大学における P C バリの研究について—

若 林 実

1. ま え が き

筆者は昭和 33 年 7 月に、東大生産技術研究所から派遣されて渡米し、約 1 年 2 カ月の滞在を終って、昨年 9 月に帰国した。目的は Lehigh 大学の Fritz 工学研究所で P C バリのせん断の研究を行なうことにあった。

羽田で見送って頂いた人々の声がまだ耳もとに残っているうちに飛行機は米国に入り、初めての外国で、いささか緊張したが、途中の連絡も支障なく、わざわざ Bethlehem から New York まで車を駆って迎えに来てくれた友人のおかげで、失敗談を作る間もなく、1 年間の滞在地に到着することができた。

Bethlehem は New York の西約 150 km のところにある人口 70 000 人ほどの町で、有名な Bethlehem 製鉄所があるが、町自体はそれほど騒音や煤煙の影響もなく、静かなところであったのは幸いであった。

Lehigh 大学は町の南側にある丘の、北向きの斜面に建てられ、1865 年創立、現在工学部、文理学部、商学部の三学部合わせて学部学生 2 500 人、大学院学生 800 人という比較的小規模の私立大学である。

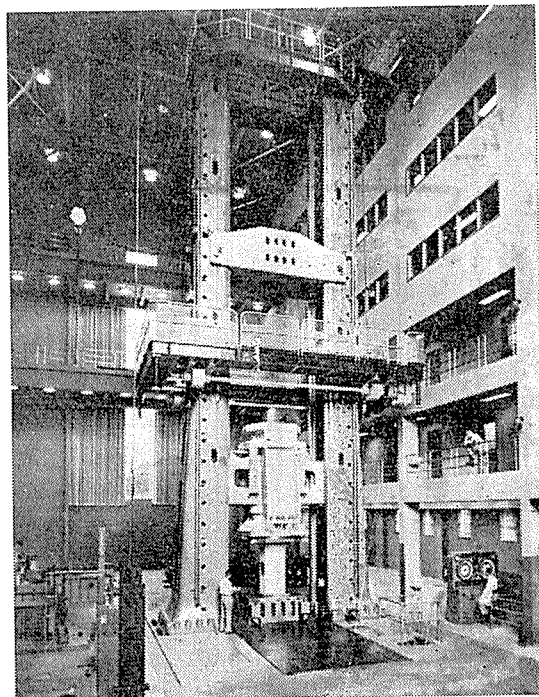
2. Fritz 工学研究所

筆者の所属していた Fritz 工学研究所は 1909 年にできたものであるが、これと土木学科とは組織上区別がついているだけで、研究面が研究所、教育面が土木学科という体制になっている。研究所の中には、鋼構造、コンクリート、水理、土質、上下水道、工業試験等の部門があるが、最も組織も大きく活発に動いているのは鋼構造部門である。ここではリミット デザインの実用化ということで、鉄骨の仕口やフレームなどの耐力試験を行なって、リミット アナリシスの実験的裏づけを行ない、またこの理論を使って間違いのないような鉄骨形式を求めるということをやっている。さらにリミット デザインによる設計指針を作ったり、この講習を行ったり、こういう方面の活動でも有名である。コンクリート部門については後述するが、他の部門は委託研究も少なく、あまり活動していなかったようである。工業試験部門というのは、外からの委託試験、たとえば大きな機械の部品の曲げ試験、橋梁用のアイバーの引張試験といったも

のを一手に引受けるところで、大型試験機を備えているためになかなか繁昌していたようである。

研究所には二つの大きな構造実験室があるが、その一つは新しく 1954 年にできたもので、写真-1 に見るよ

写真-1 Fritz 工学研究所構造実験室



うに、中の機械設備等すべて立派である。写真に見られる巨大な圧縮引張り曲げ試験機は¹⁾、高さ 17.4 m、容量 2 250 t で、米国一を誇っており、たえず見学者が来ていたが、なるほど大きなものの試験には適しているが、すべてに使いやすいというわけではなく、巨大なハリの試験とか、太い橋のアイバーの試験とかいったものに多く使われていた。こういうものの破壊のときには大音響とともに建物がゆれるので、われわれにとっては有難くないものであった。これより便利であり、大いに利用されていたのは、構造物試験用床上にフレームを組み、加圧ジャッキを利用する方法である²⁾。この床にはアンカー ボルト用の穴が 1.5 m 間隔に配置されており、床の下には巨大な鉄骨のフレームが埋込んであって、静的ならびに動的の引抜力に耐えるようになっている。この床の上に鉄骨のわくを組み、ジャッキを使用して種々の構

1) この両設備とも、ほぼ同性能のものが最近東大の総合試験所に備えられた。

写真-2 ジャッキとフレームを使用した試験装置

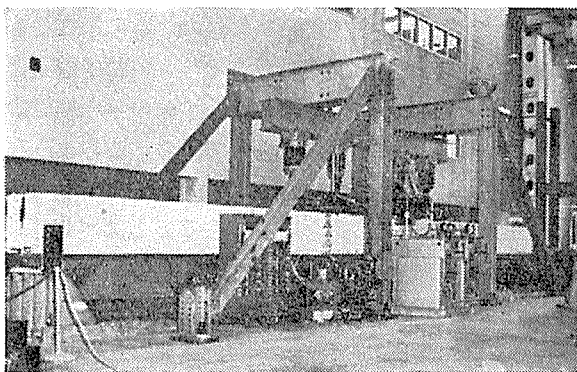
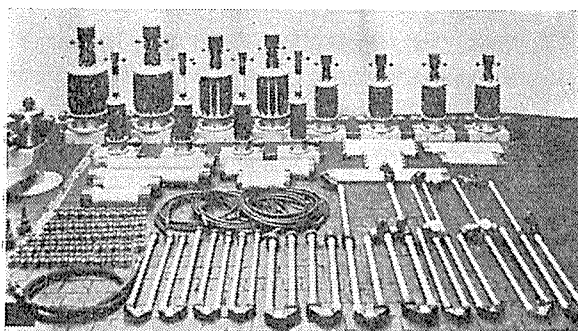


写真-3 ジャッキと連結用チューブ



造物試験ができる(写真-2)。Amsler社のオイルジャッキ 2.5, 5, 25, 50 tなどは振り式ダイナモメーターと組合わせれば静的試験, パルセーターと組合わせれば動的くり返し試験ができるようになっている(写真-3)。試験装置の組立や, 試験体の設置などには, 天井走行の 20 t クレーンが有能で, 組立は 3~4 人で短時日にやっていた。

3. コンクリート部門における研究活動

コンクリート部門で最近行なっているのは PC の研究だけである。研究費は Lehigh PC 委員会というスポンサーの合同体から 1951 年来, 年々出されている。スポンサーのうち Pennsylvania の道路部がその研究費の大半を負担し, 道路局, コンクリート研究委員会など公共的なものと, PC の製作会社, ワイヤのメーカーなどが残りを負担している。年々約 50 000 ドルの研究費を出しているが, 研究テーマは橋梁に使用する PC 構造の研究という大体のわくの中で, 比較的自由に研究者が選択している。当時この部門で研究に当たっていたのは, Ekberg 教授, Research Associate として筆者, それに助手が 4 人ほどであった。

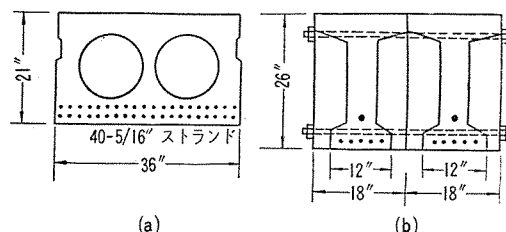
現在までに行なってきた研究題目を大別すると次のようである。

- (1) PC 材の実大試験
- (2) 集中荷重をうける multi-beam 橋の応力分布状態に関する実験的ならびに理論的研究

(3) ハリの性状に関する基礎的研究

1952 年から 1956 年の間には, 主として上記の (1) と (2) とがその対象となった。(1) の実大試験は, 今まで各所でやられていた模型実験を実物大で確かめようとしたもので, アメリカでは最初に行なわれたもののようなものである。図-1(a) のような断面で, スパン 11.6 m のプ

図-1



レテンションバリや 図-1(b) のような断面のポストテンションバリ等に, 静的ならびに動的くり返し荷重を加えて, 橋梁の寿命の間に受けると予想されるくり返し荷重に対して安全であることを確かめ, その耐力をも検討したものである。これらによって安心して PC バリが使われるようになったといわれる。このほか, スパン 17 m あるいは 21 m といったハリの試験も同様の見地から行なわれている。

(2) の集中荷重をうける multi-beam 橋の応力分布状態というのは, 車輪が集中荷重として単一のハリに加わったときに, 力がどの程度他のハリによって分担されるかという問題である。1954 年までは設計用車輪荷重の 80% が, そのハリに加わり, わずか 20% がまわりのハリに伝わると仮定して設計していたが, これに対する検討は道路橋上に大型トラックを乗せて, たわみや応力の分布状態を測定する現場試験によってはじめられた。続いて, 一般的な考察をするために, 理論的にその分布状態が求められた。これらの橋ではボックス型あるいは I 型等のハリが並べられているから, 長手方向と横方向とでは曲げ剛性が異なるので, 異方性板として取扱ひ, 集中荷重をうける二辺単純支持, 二辺自由の板として解析している。なおこれを実証するための室内実験も行なわれ, ハリとハリとを結合する shear key の影響や, 横方向のポストテンションの度合による影響についても調べられた。以上の研究によって Pennsylvania の道路橋の規準は, 上記の 80% 分担から 60% 分担に引下げられた。

(3) の基礎的研究はこの二, 三年来行なわれているもので, 現在までに行なわれてきている題目は大体次の三つからなっている。

- a) プレテンションバリにおけるストランドの付着
- b) PC バリの疲労耐力

c) PCバリのせん断耐力

附着に関しては、ハリの試験と引抜試験とが行なわれた。PCバリの疲労耐力については、前述のような実大の試験体による実験、模型実験のほか理論的研究も行なわれている。理論的取扱いでは、ハリがくり返し曲げモーメントを受けた場合に、鋼材あるいは圧縮側のコンクリートに生ずる応力度が疲労限度に達したときに、ハリとしての疲労破壊が起るという仮定にたっている。この解析には、まず鋼材とコンクリートとの疲労に関する耐久線図が必要である。次にハリがある曲げモーメントを受けたとき、これによって鋼材ならびに圧縮縁のコンクリートに生ずる応力と、この曲げモーメントとの関係図表を作る。これらの図表を組み合わせることによって簡単に疲労限を推定することができて便利である。現在はコンクリートに関する耐久力線の資料を完備することと、実際の橋において生ずるような変動荷重をどう取扱うかという問題に重点がおかれている。

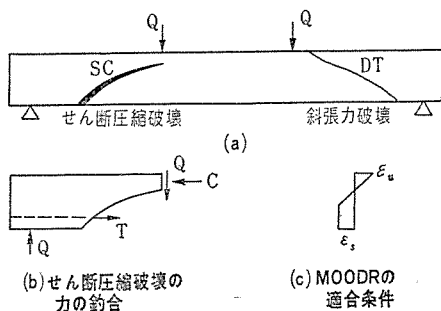
4. PCバリのせん断耐力に関する研究

PCバリのせん断抵抗に関する研究は1957年からはじめられた。この年Waltherが理論的研究を行ない、引続き1958年に筆者が実験的研究を行ない、Waltherの理論の裏づけあるいは修正を行なったわけであるが、この説明に入る前にハリのせん断破壊に関する最近の理論を概観しておこう。

20世紀初め頃からMörsch, Talbotはじめ多くの人々によって行なわれたせん断抵抗に関する研究は、最近まで実験式の域を出なかったが、1954年頃からMoody, Zwoyer, Laupa, SiessなどIllinois大学の研究グループによって提唱されたShear Compression(せん断圧縮)破壊説が現われるにおよんで、やや理論的に取扱われるようになった。

ハリの曲げ耐力が十分大きいと、せん断破壊を起すが、このせん断破壊に二通りの型があると考えられるようになった。一つは図-2に斜張力破壊として示されているものであって、従来からいわれてきたものであ

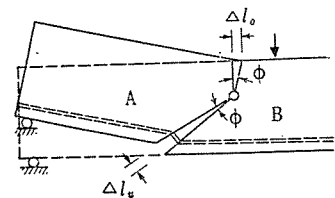
図-2



る。同図にせん断圧縮破壊として示されている型は、せん断力によって生ずる。斜ひびわれのために起こるもので、釣合鉄筋比以上の配筋を有するハリの曲げ破壊とにており、最後にはひびわれの上部、すなわち圧縮側のコンクリートが圧潰すると考えられている。このような破壊に対する耐力を求めるには、図-2(b)のようなブロックを取出して、その釣合いを考えることは、曲げ破壊の場合と同様である。しかし曲げ破壊では、鋼材のひずみと、圧縮側のコンクリートのひずみとの関係を示す適合条件として、いわゆる平面保持の仮定を用いているのに反し、せん断圧縮破壊では平面保持が成立しないものとするのである。たとえばMoodyは図-2(c)のような折線でひずみの分布形を表わした。Illinoisグループの説は皆この考えによっており、実験値から逆算して、適合条件式にふくまれる常数を決めている。

Waltherの理論²⁾は、せん断圧縮破壊説の適合条件をもう少し理論的に取扱ったもので、図-3のような変形状態を仮定している。

図-3 Waltherの適合条件



すなわちA, B両ブロックは点Oを中心に相対的にφだけ回転すると考えている。ハリの中立軸(ここではO点)以下の部分に生ずるひびわれの開口は、鋼材が $4l_u$ だけ引抜かれることによって生ずるもので、これに対応して、圧縮側ではコンクリートに圧縮ひずみが生じ、このひずみが累積されたものが $4l_c$ であるとする。ひびわれの開角φと、上側のコンクリートの圧縮ひずみによるA, B両ブロックの重なり角φとが等しいというのが、彼の仮定した適合条件である。

Waltherの理論はIllinoisグループのせん断破壊理論を一步進めたものであるが、既往の実験にそのままあてはめると、理論値はかなり実験値を下まわり、またそのばらつきもかなり大きいことがわかった。そこで筆者はこの理論を修正するため、実験室で行なっている従来のせん断試験と実際の構造物との条件の相違によるせん断抵抗の差を確かめ、これらのせん断理論式を実際設計に応用する際、どの程度の修正を行なわねばならないかを知るために、約30個のハリの破壊試験を行なった。

試験体は断面6"×12"の長方形断面およびI型断面で、単純支持、2点荷重を加えた。実験装置と破壊後の試験体を写真-4に示す。PC鋼材は7/16"ストランド

2) Walther, R.E.: "Shear strength of prestressed concrete beams." Proceedings, world conference on prestressed concrete; Berlin, May 1958. これはLehigh大におけるWaltherの学位論文である。

写真-4(a) 実験装置

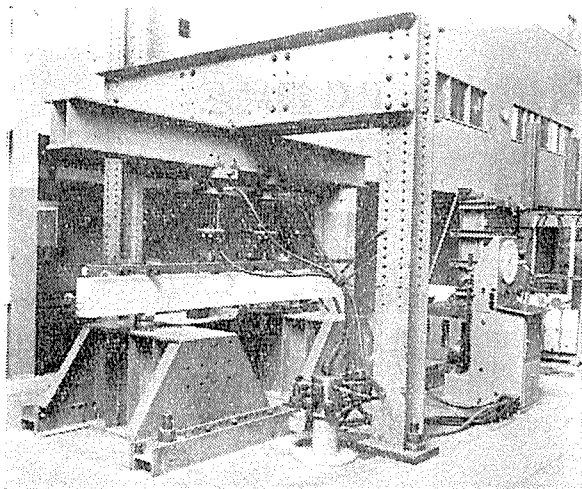
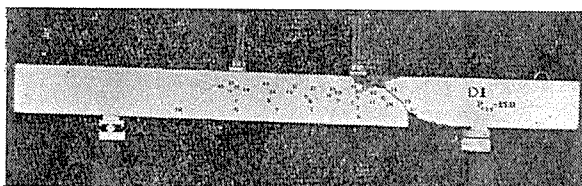


写真-4(b) 試験体



4本を用いたが、ストランドのプレテンションには前記の動的試験用床のボルトを使用した。

斜ひびわれの発生するときから、破壊直前までの各段階において、ひびわれを接写の写真で撮り、これによってWaltherの適合条件を検討した。図-3で説明したWaltherの適合条件では、回転の中心がOにあったが、この測定の結果によると、図

図-4

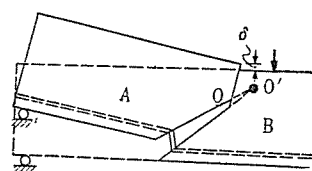


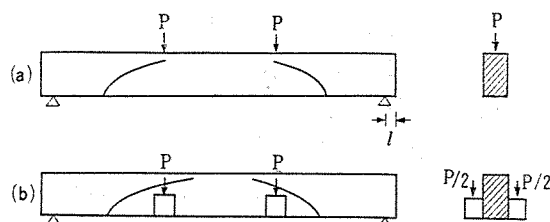
図-4のO'が回転の中心になっている。これは、A、B両ブロックの間には回転と同時に鉛直方向のずれ δ をとまうからであるが、このずれの影響は耐力算定上小さいので、Waltherの適合条件を使用してさしつかえないという結論に達した。

さらにWaltherの理論では、図-3のように、斜ひびわれのところで、主鋼材が $1L_u$ だけ引抜かれると仮定しているが、この量は鋼材の付着強さによって違ふと考えられる。Waltherは丸鋼、異形鉄筋、ストランドな

どについてこの常数を与えているが、検討の結果、この常数を改める必要があることが明らかとなった。新しい常数を使って計算した結果、われわれが行なった実験ばかりでなく、数多くの実験結果とよく一致することが確かめられた。

つぎに従来の実験と、実際の構造物との条件の相違を検討するために、図-5のような比較実験を行なった。

図-5 加力方法の影響



(a)は普通の載荷法で、荷重は載荷材を通じてハリ上端から加えられるが、(b)は荷重が一度ハリ側面に作られた突起物に加えられ、間接的にハリに加えられている。(b)の突起物は小バリを想定したものである。(a)の場合には斜ひびわれがハリのの上端近くに延びても、加圧板からの圧力によって拘束を受け、ひびわれの延長ないしはこの部分の圧潰が起りにくくなるに反し、(b)ではこのような拘束がないから、ひびわれが容易にハリ上端まで突きぬける。従って耐力も(b)の方が小さいことが確認された。同じような理由で(a)のように載荷し、斜ひびわれが発生したら、荷重を別の場所に移動してやると、ひびわれが容易にハリ上端に達し、耐力も低下することが確かめられた。橋梁では荷重が移動するものであるからこの影響を確かめたのである。

5. あとがき

Fritz 工学研究所のコンクリート部門の長である Ekberg 教授は、筆者と1日違いに Lehigh を去り、Iowa 大学へ移られ、目下後任がない。しかし今年も相変わらず研究は続けられ、せん断の担当者の当面の目標は修正したWaltherの理論式を、設計に使いやすいように簡単化することにあるようである。

(筆者：工博 京都大学助教授・建築学教室)

会費の払込みはお済みですか？

今年の2月から協会誌も年間6回、偶数月に発行することに決まりました。会員各位の御要望に答えるためと協会活動の上から当然な措置ではありますが、経理上ではかなりの犠牲をはらっている現状です。したがって会費の未納の方がありますと当然協会誌の発行にも支障をきたすこととなります。33年度、34年度会費をまだ納めてない方は至急お払込み下さいますようお願い致します。会費は年額800円です(振替口座 東京 6277番)。