

国鉄下関工事局技術管理課
(元構造初設計事務所)
国鉄下関工事局小月工事区
国鉄広島新幹線工事局

○中原 繁 則
石 川 孝 昭
松 浦 欽 文

この研究はコンクリート橋のスパンを経済的な範囲において長大化するため、高強度コンクリート($C_{80}=800\text{kgf/cm}^2$)の調査研究を行ない、かつ基礎性状を明らかにするとともに部材に使用したときの調査研究を行なうものである。高強度コンクリートを得るための基礎研究では、当初の目標をほぼ満足する高強度が得られ、かつ好ましい性質を持つことが確かめられた。特に、従来の製造方法による高強度コンクリートの研究では、現場における場所打ちが十分可能な施工性を持つコンクリートが経済的に得られ実用化の可能性が確認された。

以下、基礎性状試験、部材の載荷試験、トラスの模型試験等について簡単に述べる。

○基礎性状試験 まだ固まらないコンクリートの性状を検討するため、細骨材率、単位セメント量、粗骨材の最大寸法、混和剤の有無など各種条件の配合について検討を行なった。この結果、細骨材率20%以下ではコンクリートはあまりあらしくなるが、この傾向は単位セメント量 500kg の場合顕著となった。砕石、川砂利とも細骨材率30~40%で好ましい性状を示した。圧縮強度は混和剤を使用した場合単位セメント量 500kg で $850\sim 1000\text{kgf/cm}^2$ が、また単位セメント量 700kg で $950\sim 1050\text{kgf/cm}^2$ が得られた。圧縮強度に対する細骨材率の影響は、単位セメント量が 500kg の場合、砕石、川砂利とも細骨材率が20%以下で圧縮強度が低下する。また、早強セメントを用いた高強度コンクリートは初期収縮の強度発現が大きく、収縮1日で437%となり、コンクリート打設後の養生が特に重要である。従来の製造方法による高強度コンクリート($C_{80}=800\text{kgf/cm}^2$)のヤング係数は大体 $3.0\times 10^5\sim 4.3\times 10^5\text{kgf/cm}^2$ の範囲のものが多くようである。骨材の岩質が高強度コンクリートに及ぼす影響が非常に大きい。たとえば、島羽砕石のように砕石の比重、単位重量が大きく、吸水量が小さくても、岩質が変質したもの、原石の中に蛇紋岩、凝灰岩等の岩質の比較的弱いものを一部に含んでいるようなものは、コンクリートの圧縮強度も劣っている。したがって、高強度コンクリートを得るには、コンクリートの配合設計のほか、骨材の差による影響が大きいので、骨材の選定にあたっては十分調査、試験によって確認のち、使用の良否を決めることが大切である。高強度コンクリートの圧縮疲労強度試験は $\phi 10\times 20\text{cm}$ の内径供試体を用いて行なった。上限荷重は静的破壊荷重の55, 60, 65, 70, 80%とし、下限荷重は一定とした。試験結果から、高強度コンクリートの疲労限度曲線は静的破壊荷重の55程度と考えられる。極限値以外は普通強度のコンクリートと多少異なった値が得られた。高強度コンクリートでは、最大応力度を示す時のひずみは3%程度であった。クリープ、凍結融解、付着強度等については、ここでは省略することにした。

次に、高強度コンクリートを得るための基礎試験に基づき、実用に供しうるコンクリートの配合を用いて、部材の載荷試験(動的・静的)を行なった。載荷試験の目的は高強度コンクリートを構造用部材として用いるには、部材の製造および構造体の安全性を考慮して、設計上の許容応力度をどの程度に選定すれば適当であるかを確認するため、スパン5.0mの丁形断面の曲げ部材の試験体を製作し、静的、動的試験を行なった。部材の中央断面におけるコンクリートの圧縮ひずみは、設計荷重の範囲内では直線的に変化し、実測ひずみの中軸と、計算から求めた中軸とはほぼ等しい。スパン中央断面の圧縮ひずみの大きさは載荷荷重20%で $430\mu\sim 560\mu$ 程度であった。ひずみ発生荷重の実測値と計算値の比は0.92~1.03、破壊荷重は1.12~1.20の範囲内にある。

疲労試験は静的破壊荷重 M_u (部材4本の平均値)の値の0.45 M_u , 0.5 M_u , 0.62 M_u , 0.7 M_u , 0.8 M_u , および設計荷重 M_s の6本の部材について、これらの荷重を上限荷重とし、下限荷重9.6%の荷重振中で行なった。上限荷重を M_s とした疲労試験体は200万回のくり返し荷重を受けても、けたの耐荷力にはほとんど影響がなく、

200万回後の静的破壊荷重、ひずみ等は静的試験と比較して、目立つた変化はなかった。また上限荷重0.45 Mu(1.47xMsに相当)ではコンクリート下縁にひびわれが十数本発生しているが、くり返し回数200万回後のひびわれ状況はひびわれ長さが10cm程度伸びたが疲労破壊には至らなかった。これらも本の部材の応力比一様返し回数との関係から、200万回に対する高強度コンクリートの曲げ疲労強度は静的破壊強度の50%程度であると思われる。以上の試験結果から、高強度コンクリートの許容応力度の提案式を提示した。コンクリートの許容曲げ圧縮応力度は部材引張部で0.337 σ_{ck} 、部材圧縮部で0.263 σ_{ck} 、プレストレス導入直後の引張応力度は0.025 σ_{ck} 程度とした。結果はなお若干の検討すべき点が残されているとしても、高強度コンクリートに用いた構造物の設計施工の実用化に供することができる成果を得ることができた。これらの研究結果から、山陽新幹線において、スパン49mの単純I形けたの実設計を行ない、施工に先立ち、現場においてのコンクリートの基礎性状、配合、実物大のコンクリートの打込み試験を行なって現場施工の問題点を把握し、実用化に反映した。

一オ、今までと異なった構造系の実用化のため、高強度コンクリートを用いたPCTラスを実用化した。これは山陽新幹線矢賀地区(回送線)に架設されるスパン45mのPCTラスである。この設計に先立ち、次に述べる基礎試験を行なった。トラス格点部のコンクリートの打込み試験は格点部に、鉄筋セシスが集中した形で配置されているので、高強度コンクリート打設時に予想される施工性の問題点を調べることを目的として、実物大で同一配筋した格点部にコンクリートを打設して行なった。試験は2回に分けて行ない、コンクリート打設後2時間程度経過してから、型枠を取りはずして、コンクリートの行きわたり状態を調べたが、異常は認められなかった。また、第2回試験では型枠脱型後、ワイヤブラシで表面のモルタルを除去し、水洗いを行なって、粗骨材の分布状態を肉眼により調べたが骨材の分離現象はみられなかった。したがって、高強度コンクリートの打設は締め固めに注意すれば、欠損部を作ることなく、コンクリートを打ち込むことが試験の範囲内ではわかった。格点部は弦材の接合部分に応力集中が生じると同時に鋼材定着部分が集まる。このため、格点部内に定着のための切欠きを設ける場合は、切欠き深さおよび位置に注意する必要がある。また、各部材が格点と接合して構成する隅角部は光弾性試験および文献から部材厚の $\frac{2}{3}$ の半径をもつ円形部分をつけることが好ましいが、半円形の取り付けが難しいので、半円形と部材との接点間を直線で結んだ隅角部を設けることにより、応力集中の軽減を計った。平面トラスの静的載荷試験は山陽新幹線矢賀地区(回送線)PCTラス橋の設計施工に先立ち、実施けた部材長の0.3倍、3パネル(スパン $3 \times 2.7 = 8.1$ m、桁高2.48m)のワーレントラスの挙動と安全性を検討し、さらにPCTラスの耐荷力、計算精度、部材接合部の剛性等の検討を行なって実橋の設計に反映することにした。PCTラスに使用したコンクリートの設計基準強度はプレキャスト部800 kg/cm^2 、目地部600 kg/cm^2 である。この試験で得られた結果、任意平面フレーム計算で解析した結果より載荷荷重が小さい間は、この試験体の格点は剛節点に近いので剛節点トラスとして解析できる。しかし、載荷荷重が大きくなり、引張材と格点との目地が開き、部材引張部にひびわれが生じてくると、部材の剛性は低下し、格点はヒンジ化する。このようにPCTラスの構造系が変化するもので、PCTラスの模型試験では構造系を5段階に仮定して計算すれば、かなり正確に断面力を計算することができる。またPCTラスの緊張力は主に軸力に抵抗させる配置となっているため、わずかなプレストレスのロスも敏感に部材のひびわれに影響するので、緊張方法には注意が必要である。PCTラスの疲労試験はくり返し荷重をうける場合の安全性を確認するため、静的試験の下弦材中央格点部(2パネル $10.88 \times 2 = 21.76$ m、高さ1.0m)を使用して行なった。部材の接合方法は対象格点部は接着目地とし、他はすべて鉚接法を用いてピン結合とした。この疲労試験結果では、疲労試験前後の荷重-ひずみ曲線は多セバウツキがみられるが、疲労による有害な影響はみられなかった。以上、高強度コンクリートの基礎性状および部材に使用した力学的性状について簡単に述べたが、今後、高強度コンクリートは構造用材料として有益なものであると思われる。最後に、この研究に関して御指導いただいた「コンクリート橋の長大化に関する調査研究」の委員御事および試験実施に御協力いただいた方々に深甚な謝意を表すものである。