

【194】

氏名	中川浩二 なか がわ こう じ
学位の種類	工学博士
学位記番号	工博第342号
学位授与の日付	昭和48年9月25日
学位授与の要件	学位規則第5条第1項該当
研究科・専攻	工学研究科土木工学専攻
学位論文題目	圧縮荷重下でのコンクリートの破壊機構に関する研究
論文調査委員	(主査) 教授 丹羽義次 教授 岡田 清 教授 赤井浩一

論文内容の要旨

本論文は圧縮応力下でのコンクリートの破壊機構を、実験観察とモデル解析によって明らかにしたものであって、Ⅱ部6章よりなっている。

第Ⅰ部では、本研究を遂行するに当たっての一連の載荷試験で、供試体内に一樣な応力および破壊の場をうけることを目的として、固体圧による圧縮試験の力学的特性を理論的に詳細に検討している。

第1章では、等方均質弾性供試体端面が Amonton の摩擦則による拘束を剛体圧盤からうけるものとして、1軸圧縮の直方体および円柱供試体内の応力分布を、有限要素法を用いて混合移動境界値問題として解析し、供試体の寸法、ポアソン比および端面摩擦係数の応力分布に及ぼす影響を明らかにしている。また、2軸圧縮の立方体供試体内の応力分布は、さらに載荷経路の影響をうけることを数値的に明らかにしている。

第2章では、モルタルの3軸圧縮試験より求めた強度破壊および破壊開始の応力条件を Rendulic 面上に設定し、この間に4つの破壊段階を想定し、各段階でそれぞれ別に定めた修正弾性定数を用いる荷重増分法により、均質円柱供試体内の応力分布の変化状況と逐次破壊の進行過程を刻明に解析している。

第Ⅱ部では、コンクリートの破壊機構を明らかにする目的で、粗骨材境界のポンドクラック、モルタルクラックおよびモルタル変質の発生、発達過程に対する実験観察とモデル解析を行なっている。

第3章では、コンクリートの構造とその多様な初期欠陥について検討を加え、まずポンドクラックおよびモルタルクラックの発生、発達の条件および状態を、初期欠陥をモデル化した6種類の供試体について詳細に観察し、ポンドクラックに対しては Mohr あるいは Coulomb、モルタルクラックに対しては Griffith あるいは修正 Griffith の破壊条件を適用して、大きな誤りのないことを確かめている。そして、この考察をもとにして、コンクリート中にはクラック状の欠陥、あるいはすべり面となりうる欠陥面が一樣に分布しているものと仮定し、クラック周縁の引張強度や欠陥面での内部摩擦係数が正規乱数で与えられたものとして、2軸応力状態に対する欠陥の破壊率を計算し、これを主応力面上で図示している。そし

て、等破壊率曲線が破壊曲面に関する小林の説明とよく一致することから、このモデル解析の有意性を立証している。

第4章では、コンクリートの破壊をクラックの発達による内部構造の変化という立場からとらえるため、コンクリートを簡単な力学的性質をもつ構成要素の集合体とみなして、逐次破壊の解析をしている。まず Baker のトラスモデル解析を発展させ、格子部材の引張強度に正規乱数を与えて解析しているが、このモデルは実際的でないと結論している。またラーメンモデル解析では、引張破壊を生じたラーメン構造単位の斜部材のせん断ならびに曲げ応力の伝達の機能を低下させて解析しているが、このモデルによれば、1軸圧縮時の縦割や高拘束圧下でのすべり破壊のような現象がよく説明できると述べている。つぎに Brandtzaeg のモデルをもとにした有限要素よりなる連続体モデル解析では、すべり、割裂およびこれらの破壊が重畳した圧潰の3つの破壊形式を考え、各要素には、その方向が乱数的に変化する固有のすべりを生じうる面が存在するとし、さらにその粘着力および引張強度に正規分布を考えて解析を行なっている。そして、このモデルによれば、実際のコンクリートの強度破壊曲線や破壊の発生、進行状態がよく説明できることを明らかにしている。

第5章では、低拘束圧下で圧縮荷重をうけるコンクリート中のクラックの発生と発達過程を、低倍率の拡大鏡を用いて追跡している。まずボンドクラックについては、ボンドクラック比 $\beta = (\text{破壊された粗骨材境界の総延長} / \text{粗骨材境界の総延長})$ を定義し、静水圧および1軸圧縮応力履歴、 σ_{oct} 一定面内での τ_{oct} 履歴と β の関係を Rendulic 面上で求め、等ボンドクラック比曲線の特性について注目すべき事実を認めている。つぎにモルタルクラックについても、その発達程度を5段階に区分し、応力履歴との関係を Rendulic 面上に表示し、それが卓越して発達する応力状態を明確にしている。また、残存強度比 $r = (\text{載荷履歴をうけた供試体の1軸圧縮強度} / \text{載荷履歴をうけない供試体の1軸圧縮強度})$ および破壊程度 $\alpha = (1.0 - r)$ を定義し、 α 一定の曲線を Rendulic 面上に描き、これを等破壊程度曲線と呼び、その形状について検討を加えるとともに、 β と α との間にはかなり強い相関性のあることを見出している。

第6章では、拘束圧の高い領域において観察されるモルタルの変質を中心として、その破壊機構を実験的に考察している。まずモルタル供試体の圧縮、中間、伸長の各試験時における所定荷重保持中の最大荷重方向の変形量は、およそ $\sigma_1 / \sigma_3 = 5, 6, 6 \sim 7$ を境にして著しく相違することを見出し、この値はまた、比重が増加から減少に遷移する応力比や残存1軸圧縮強度比の急変する応力比とも、ほぼ一致することを確認している。そしてこれらの実験結果に一連の解釈を与え、モルタルは拘束圧の増加とともにぜい性より延性に遷移することを明らかにし、この状態を Rendulic 面上で表示している。つぎに、延性破壊について、さらに詳細な検討を行なうため、組成の異なる10種類のモルタルの静水圧-変形曲線を求め、これが弾性、遷移、流動、安定の4領域に分類できることを見出し、その組成や残留変形、比重、体積弾性係数、残存強度の変化の間の密接な相関関係を明らかにしている。また、Rendulic 面上で等破壊程度曲線を求め、これよりモルタルの等変質程度曲線を推定するとともに、その直截面上の形状変化の状態に検討を加えている。また、ある一定の破壊程度を与える履歴応力は、最大、最小主応力の和、差の関数として表わされることを明らかにしている。

最後に、以上の多くの実験資料をもとにして、コンクリートの破壊機構に関する総括を行ない、Rendulic

面上で破壊進行状態を表わす α とボンドクラック，モルタルクラック，モルタル変質のそれぞれの破壊形態が卓越する領域との関連を求め，応力状態に対応した破壊程度と破壊要因を明らかにするとともに，その応力状態下でのコンクリートの物理的諸量，たとえばボンドクラック比，残存強度，比重等をかなり定量的に明らかにしている。

論文審査の結果の要旨

土木，建築工事における主要な建設材料は，鋼と木材，土と岩およびコンクリートであり，それぞれの分野で，その力学的特性の研究が活発に行なわれている。この論文はこれらの材料のうちコンクリートを対象とし，その圧縮応力下での破壊機構を実験観察とモデル解析によって明らかにしたものであって，得られた成果のうち主なものを列挙すると，つぎのとおりである。

(1) 固体圧による圧縮試験時における等方均質弾性供試体内の応力分布の変化状況を，有限要素法を用いて混合移動境界値問題として解析し，供試体寸法，ポアソン比および端面摩擦係数，ならびに載荷経路の影響を明らかにするとともに，さらに逐次破壊の進行過程を修正弾性定数を用いる荷重増分法によって解析し，供試体内に一樣な応力および破壊の場をうるための試験条件を設定した。

(2) コンクリート中の多様な初期欠陥を単純化して，それぞれ Griffith または修正 Griffith と Mohr または Coulomb の破壊条件に従うクラックとすべり面とによって表わし，これらの欠陥が一樣に分布して存在するモデルの欠陥破壊率の計算を行ない，このモデル解析の破壊曲面に対する有意性を明らかにした。

(3) コンクリートの破壊をクラックの発達による内部構造の変化という立場からとらえるため，従来から提案されているトラスおよびラーメンモデル，ならびに有限要素よりなる連続体モデルの解析手法を発展させ，各部材や要素の破壊条件や強度等に関して，新たに乱数的正規分布を導入して解析し，各モデルの特性を明らかにするとともに，有限要素モデル解析によればコンクリートの破壊現象がよく説明できることを立証した。

(4) 低拘束圧下で観察されるボンドクラック，モルタルクラックについて，ボンドクラック比 β ，残存強度比 r ，破壊程度 α を定義し，広い範囲の応力履歴と β ， α の関係を Rendulic 面上に表示し， β 一定の等ボンドクラック比曲線および α 一定の等破壊程度曲線の特性を明らかにし，モルタルクラックの卓越する応力領域を明確に指摘した。

(5) 高拘束圧下で観察されるモルタルの変質を中心として，その破壊機構を考察し，モルタルが拘束圧の増加とともにぜい性より延性に遷移することを示し，ぜい性-延性破壊の卓越する応力領域を Rendulic 面上に表示した。また静水圧-変形曲線が弾性，遷移，流動，安定の4領域に分類できることを見出し，その組成や残留変形，比重，体積弾性係数，残存強度の変化の間の密接な相関関係を明らかにした。

以上を要するに，本論文は実験観察によって，コンクリートの破壊程度とボンドクラック，モルタルクラック，モルタル変質のそれぞれの破壊形態が卓越する応力領域との関連を Rendulic 面上で求め，応力状態に対応した破壊程度と破壊要因，ならびにその物理的諸量を明らかにするとともに，モデル解析によって，内部構造の変化という立場からコンクリートの破壊機構を究明したものであって，学術上，工業上寄与するところが少なくない。よって，本論文は工学博士の学位論文として価値あるものと認める。