

# PIVを用いた脆性物体の衝撃破壊に関する 基礎的研究

Fundamental Studies on shock-failure behaviors of brittle bodies  
by using the PIV analysis

主任研究員名:玉野 富雄

分担研究員名:金岡 正信

## 本研究成果の平成 21 年度における査読付き論文への公表

- ① T.Tamano, M.Kanaoka, K.Takehara, N.Mizutani: Crack Propagation Velocity of Granite by Impact Splitting Tests, Proceedings of the 17<sup>th</sup> International Conference on SMGE, ISSMGE, pp.356-359,2009.10
- ② 金岡正信, 玉野富雄:群アンカー引抜き抵抗力に関する模型実験, 122, 1-7, 大阪産業大学論集自然科学編, pp. 9-28, 2010. 2

## 共同研究組織全体の研究成果の中間総括

都市防災の点から、直下型大地震時での構造物や岩盤基礎の衝撃破壊に関する研究は、看過できない緊急研究課題といえる。特に、兵庫県南部地震では、ピアアのX状せん断破壊や鋼・鋳鉄製円柱の圧壊・座屈・脆性破断が確認された。また、平成 15 年の新潟県中越地震では、従来比較的安全とされてきたトンネル構造物でも衝撃破壊が生じたことは記憶に新しい。こうした観点から、本研究では、構造物や岩盤基礎の衝撃破壊時の力学挙動の解明を目指し、“PIVを用いた脆性物体の衝撃破壊に関する基礎的研究”を行う。

物体の衝撃破壊挙動を力学的に把握する計測方法として、従来、光弾性実験方法などが行われてきた。しかしながら、こうした計測方法では、超高速でのクラック伝播現象やその時のひずみ状態を面域として詳細に把握するには、実験・計測・解析上で限界があるといえる。

本研究では、近年、研究の進展が著しい超高速ビデオカメラを用いた画像解析による可視化手法、相関法により求めた変位ベクトルの変化より面的にひずみ解析を行う PIV (Particle Image Velocimetry の略) 解析法によるひずみ解析を用いる。

本研究では、以下の実験的研究を平成 21 年度より取り組んでいる。

○ **脆性物体の衝撃せん断破壊挙動に関する実験的研究：**

研究分担者名 玉野 富雄

1995 年に発生した兵庫県南部地震時において多くの構造物で非常に大きい鉛直成分をもった地震動によると考えられる破壊形態が生じた。その中で、地中部においても衝撃上下動によると考えられるせん断破壊の破壊形態が観察された。脆性物体の衝撃せん断破壊挙動は、従来不明な力学現象である。こうした観点より実験、ひずみ計測手法、および PIV 解析により、このような力学現象の解明に取り組む。現時点では、実験機の製作・実験手法の開発を行っている。

○ **PIV の地盤変形挙動への適用に関する研究**

研究分担者名 金岡 正信

本研究では、“PIV を用いた脆性物体の衝撃破壊に関する基礎的研究”を実施するに際し、実験解析上の大きな課題である PIV の地盤変形挙動への適用に関する研究を“群アンカーの引抜き抵抗力に関する模型実験”により確立しようとするものである。本研究では、2次元平面ひずみ状態のアルミ棒積層体地盤モデルを用い、アンカー設置間隔を種々変化させた2本のアンカーの同時引抜き実験(以下、群アンカー引抜き実験と呼ぶ)を行い、加圧アンカーの引抜き抵抗力発生時の力学挙動を調べる。あわせて、地盤変位ベクトルの可視化とそれを用いた PIV によるひずみ解析を行い、PIV の適用方法の確立と精度検定を行っている。

# 脆性物体の衝撃せん断破壊挙動に関する実験的研究

玉野 富雄(工学部)

分担研究者は、高精度で衝撃载荷(圧縮および引張)実験が可能な衝撃実験機を研究製作し、花崗岩やモルタルなどの脆性体が衝撃力による破壊挙動を明らかにする研究を行ってきた。その結果、モルタル・花崗岩の円筒形供試体における圧縮载荷時および引張载荷時の破壊形態は、静的破壊時と衝撃破壊時で大きく異なること、さらに、衝撃破壊時においても実験時の力積によって破壊形態が大きく異なることを示している。すなわち、衝撃力が大の場合:コーンと割裂破壊、衝撃力が中の場合:X状せん断破壊、衝撃力が小の場合:45°に近い角度のせん断破壊である。衝撃力が小さい場合でも、モルタル供試体に発生する反射引張応力波により、引張破壊が生じることを示した。これらの成果は、兵庫県南部地震では、ピーアのX状せん断破壊現象をある程度説明できるものである。

次に、こうした研究を進展させ、モルタル・花崗岩の円筒形供試体を横にして载荷する衝撃割裂実験法(Impact Splitting Test)を開発した。この衝撃割裂実験法を用い、衝撃割裂実験時のクラック伝ば形態およびクラック伝ば速度について研究を行った。画像計測法として、江藤らの開発した 100 万コマを撮影できる世界最速の超高速ビデオカメラを使用した。その結果、衝撃力を大きくするとクラック伝播速度は大きくなるが、衝撃力を極端に大きくしてもクラック伝播速度が大きくなる限界速度(2.6 km/sec)があることを確かめた。

これらの研究成果をベースとして、平成 21 年度における研究では、衝撃割裂実験時のクラック伝播時の力学現象を面域としての PIV より解析した。その際、点としてのひずみ計測結果を用いて PIV の結果を検証した。その結果、力積とクラック伝播速度の関係で、力積が大きくなればクラック伝播速度が速くなるが、それ以上に衝撃力を大きくしてもクラック伝播速度が増大しないという限界状態があり、モルタル供試体および花崗岩供試体で 2.6km/sec に収斂することを明らかにした。

平成 22-23 年度には、平成 21 年度で実施した研究をさらに深化させ、“脆性物体の衝撃せん断破壊挙動に関する実験的研究”に取り組む。

# 群アンカーの引抜き抵抗力に関する模型実験

金岡 正信(工学部)

摩擦形式アンカーではセメントスラリーを削孔した地盤中に注入し、円筒状の細長いアンカー一体を作製する。本論文では、摩擦形式アンカーで加圧しない場合を無加圧・摩擦形式アンカー(以下、単に無加圧アンカーと略す)と呼ぶ、加圧する場合を加圧・摩擦形式アンカー(以下、単に加圧アンカーと略す)と呼ぶ。

近年、加圧アンカーがその有用性から多用されている。しかしながら、加圧の引抜き抵抗力に及ぼす力学効果については、現場施工事例から極めて大きいものであることがわかっているが、力学挙動には不明な点が残されている。

また、加圧アンカーに関する模型実験による研究は、加圧状態の設定に難しさがあり、無加圧アンカーの場合に比べて少ないのが現状である。

こうした観点から、本研究では、2次元平面ひずみ状態のアルミ棒積層体地盤モデルを用い、アンカー設置間隔を種々変化させた2本のアンカーの同時引抜き実験(以下、群アンカー引抜き実験と呼ぶ)を行い、加圧アンカーの引抜き抵抗力発生時の力学挙動を調べる。あわせて、地盤変位ベクトルの可視化とそれを用いた PIV によるひずみ解析を行った。

本論文を要約すると次のようである。

- ① 加圧・摩擦形式の単アンカー引抜き実験では、加圧を行うことにより、無加圧・摩擦形式アンカーの場合に比べ最大引抜き抵抗力は1.3~1.6倍に増大し、加圧の力学効果は顕著である。
- ② 加圧・摩擦形式の群アンカー引抜き実験をアンカー設置深さ(D)とアンカー間隔(B)の比(D/B)を変化させて行い、得られた極限引抜き抵抗力とその時の地盤変位の PIV によるひずみ解析により、D/B が 1.43 より大きくなるほど、アンカー間の両側からのすべり塊が交差し一体となることが原因して極限引抜き抵抗力の大きな減少が生じる。
- ③ 本実験と解析を通じ、PIV の地盤変形挙動への適用に関する方法と精度について確立ができた。

平成 22-23 年度には、平成 21 年度で実施した研究をさらに深化させ、“衝撃載荷時における基礎支持力に関する実験的研究”に取り組む。