

立命館大学大学院理工学研究科	学生員	○柿田 隆弘
同上	学生員	小林 泰三
京都大学大学院工学研究科	正会員	小林 俊一
立命館大学理工学部	正会員	深川 良一

1. はじめに

コーン貫入試験（CPT）は典型的なインデックス試験であるという意味で経験的なデータの蓄積が重要視される一方、地盤の応答を直接反映するデータを用いて設計するものであるため、コーン貫入のメカニズムの解明は調査精度や利用価値を高める上で大変重要である。コーン貫入のメカニズムに関する研究は従来から多く行われているが、理論的アプローチによるものが中心であり、特に砂質地盤においてコーン貫入による地盤変形の実現象を実験的に明らかにしている研究は少ないようである。そこで本研究では、砂地盤を対象に X 線透視装置を用いたコーン貫入機構の可視化実験を行い、ひずみ解析に基づいてコーン貫入時における周辺地盤の圧縮性に関する考察を行った。

2. 実験装置

コーン貫入模型実験装置の概略を図-1 に示した。土槽は、高さ 1.5 cm、直径（内径）18 cm のリング（厚さ 1.0 cm）を 20 段重ね合わせ、天板と底板に取り付けられたステンレス製のシリンダーと連結させることによって、高さ 40 cm のシリンダーとなるように作られている。これは後に述べるように、土槽中に鉛玉ターゲットを配置するためである。使用したコーンの先端角度は 60°, 30°およびフラット（180°）の 3 種類とし、土被りを模擬するために地表面に敷いたゴムメンブレンを介して空気圧を負荷できる仕組みとなっている。

X 線透視装置は、X 線管、蛍光増倍管、CCD カメラ、画像改善装置、画像記録装置、画像モニター、パソコンなどの一連の機器群から構成される。X 線は供試体を透過する際、物質の密度と透過厚さによってその強度が変化する。透過した X 強度に応じた蛍光像を蛍光増倍管に発生させ、蛍光像を CCD カメラによって撮影することによって供試体の密度の差異（変化）を評価することができる。このとき、密度の高い鉛玉ターゲットを地盤中に埋設することで土の動きを代表するターゲットの変形挙動を可視化することができる^{1), 2)}。本実験で用いた X 線透視装置システムの詳細については京都大学でまとめられた研究成果報告書³⁾を参照されたい。

3. 実験概要

試料には気乾状態の豊浦砂を用いた。土槽のリングごとに地盤を密詰めの場合は多重ふるいによる空中落下法⁴⁾で、緩詰めの場合はふるい引き上げ法⁵⁾を応用して作成し、均した表面の中心を通る直線上に直径 1.5 mm の鉛玉を 10 mm 間隔で配置する。地盤作成と鉛玉配置の一連の作業をリングごとに積み重ねていくことで土槽中心を通る平面の格子点上にターゲットを配置することが可能となる。

実験は表-1 に示した条件で合計 6 ケースの貫入を行った。コーンの貫入速度は約 2 mm/s とし、貫入深さ z がコーン径 B （16 mm）の 0, 1, 2, 3, 4 倍などとなる時点で貫入を一時的に停止して X 線の静止画像を撮影した。ただし、地表面から約 7.5 cm 貫入した時点の変形場を $z = 0$ の基準状態とした。

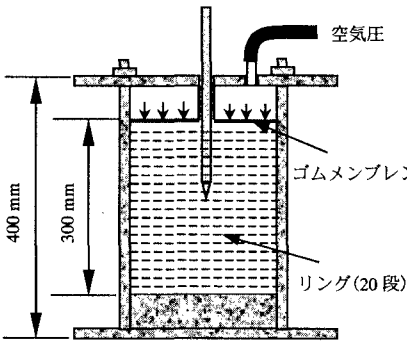


図-1 コーン貫入試験装置

表-1 実験条件

実験番号	コーン形状	p_v (kPa)	D_I (%)
CPT 1	60°	0	79.7
CPT 2	60°	50	76.5
CPT 3	60°	100	87.5
CPT 4	60°	100	86.0
CPT 5	フラット	100	73.2
CPT 6	60°	100	29.5

4. 実験結果および考察

X線画像の鉛玉ターゲットの座標を節点とする定ひずみ三角形要素を考え、実測したターゲットの変位からひずみ解析を行った。本文では一例として、全ての実験ケースにおける体積ひずみ分布を図-2に示した。いずれの場合も $z/B = 0 \sim 1$ の変形場を解析対象とし、ひずみはパーセント表示で、圧縮を正としている。

ひずみ量およびその発生領域の定量的な差異は見られるが、いずれの場合においてもコーン先端より下方付近に体積ひずみが負となる膨張領域が観察できる。これはダイレイタンスによる体積膨張を示唆するものであり、せん断による変形が生じている可能性が考えられる。CPT1(図-2(A))のケースでは、上載圧による拘束がないため土が上方へと移動しやすく、膨張を示すひずみ領域が広範囲に分布していることが分かる。一方、上載圧を負荷したケース(図-2(B),(C))ではコーン先端下方のみに膨張領域が集中し、それを囲むように圧縮の卓越する領域が発生していることが分かる。ただし、ここで示される圧縮がマスのようなのか、あるいは粒子の破碎によるものかの判断は現段階では困難である。また、先端角の違いに注目して図-2(C)~(E)を比較すると、コーン先端近傍に発生する膨張領域は先端角が鋭くなるに伴ってコーンを取り囲むように変化するようである。さらに土の相対密度の影響を調べるために図-2(C)と(F)を比較すると、緩詰め砂の場合にもコーン先端下方に膨張領域が発生し、その領域よりさらに斜め下方で大きな圧縮領域が発生していることが観測された。

5. おわりに

本文では、X線を用いてコーンの貫入機構を可視化し、コーンの形状、上載圧および土の詰め方の体積ひずみ分布に及ぼす影響を調べることができた。今後は、垂直ひずみやせん断ひずみといった種々の解析結果、あるいは埋設した鉛玉ターゲットの変位経路などの検討と併せて具体的な変形メカニズムを明らかにしたいと考えている。

最後に、本実験は京都大学所有のX線透視TV装置を用いて行ったことを付記するとともに、実験にご協力いただいた京都大学 檜垣義雄氏に謝意を表する。

参考文献

- 1) Roscoe, K. H. et al. (1963): The determination of strains in soils by X-ray method, *Civ. Eng. & Pub. Wks.*
- 2) 大石善啓 (1992): X線ラジオグラフィ法を用いた土の切削機構の可視化, 土木学会論文報告集, No. 454, III-20, 19-26.
- 3) 関口秀雄 (研究代表者) (1999): X線TVによる動的荷重下の粒状対地盤-流体系の内部変形機構可視化に関する研究, 平成9~10年度科学研究費補助金(基礎研究C(2))研究成果報告書, 京都大学土木工学科
- 4) 例えば, Miura, S. and Toki, S. (1982): A sample preparation method and its effect on static and cyclic deformation strength properties of sand, *Soils and Foundations*, vol. 22, No. 1, 61-77.
- 5) 例えば, 谷本喜一, 岩崎照昌 (1965): 砂の最小密度の測定法, 第10回土質工学シンポジウム, 土質工学会, 11-14.

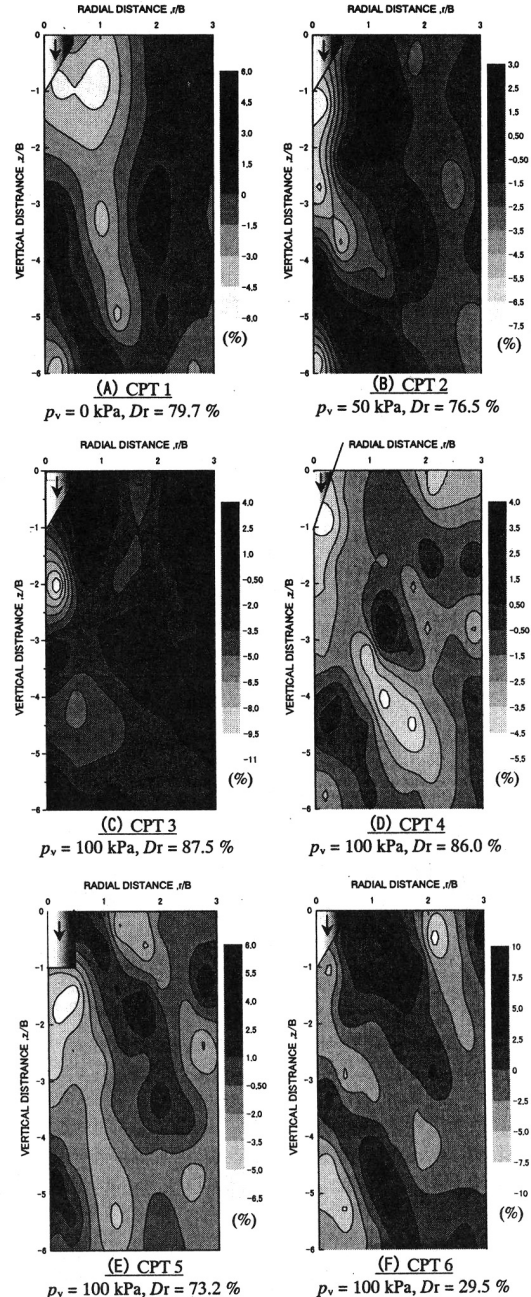


図-2 体積ひずみ分布図