

## - 1 4 チクソトロピー材料の特性に関する研究

### Study on Thixotropic Material Property for Building Structure

(研究期間 平成 13 年度)

構造研究グループ  
Dept. of Structural Engineering

井上 波彦  
Namihiko INOUE

Synopsis- The word "Thixotropy" means a rheological behavior that shows significant decrease of viscosity under shear loading. Physical property usually associated with certain gels whose molecular bonds are disrupted by movement. Materials having such property are classified as non-newton characteristic fluid since the stiffness and viscosity is not in proportion to applied share stress. Thixotropy is a contrastive phenomenon to the diratancy from a rheological point of view, and seems to be useful for building structures because thixotropic state change between sol and gel can be made (hopefully) easily without any external, computer-controlled power source. On this study I have made a brief outline about thixotropy, and some ideas of application have been shown.

#### 【研究目的及び経過】

建築物の安全性を向上するための試みとして、地震・風といった外力が作用する場合における建築物の応答を低減することを目的とした制振、免震技術の適用が行われてきている。特に、免震構造については、平成 12 年の材料・構造に関する一般基準化（平成 12 年建設省告示第 1446 号及び第 2009 号）により、今後一層の普及が期待されるところである。

制振及び免震構造として現在の主流となっているものは、建築物の動的パラメータ（質量・減衰・剛性マトリクス等）に応じてあらかじめ装置の剛性あるいは減衰を適切に定めておくパッシブ制御、あるいは、これらのパラメータを外力や応答の逐次変化に応じて変化させることで制御の効果（加速度、変位等の低減）をより効果的に向上することを目指したセミアクティブ制御・アクティブ制御と分類される形式のものであるが、例えば制振構造においては十分な制振効果を得るためには比較的大きな層間変形を許容する必要があるため、これは建屋の剛性を低くすることにつながり、結果として中地震に対する耐震設計クライテリア（通常の場合、層間変形角 1/200）を満足できなくできなくなったり、風等による無視できない常時の振動を生ずるおそれがある。また、免震構造においては、特に戸建て住宅の免震化を考えた場合に上部構造となる建屋の重量が軽くなるため、免震構造の固有周期を一定以上とするためには免震層の剛性を下げる必要があり、このため、逆に中程度の風による変形が過大になる（免震部材の変形限界を超えて逸走する）といった問題を生ずる。

上記のような問題点を解決するために、加速度計その他のセンサーを併用することで中程度を超える程度の地

震に対してのみ選択的に作動するように調整された制御機構とする事が、旧建築基準法第 38 条の規定に基づく免震住宅の大臣認定に際して行われてきているが、いずれも機械的・電子的な機構によるもので、建築物の共用期間やメンテナンス等の状況に応じた適切な作動を期待することについては、建築基準法上の取り扱いを含めて、今後の議論が必要なところである。

このような状況を踏まえて、本研究では、建築物に自動的・自律的な特性を付加するために必要な材料として応力の作用時に粘度が低下する性質を示す流体系の材料（チクソトロピー材料）を想定し、その実現可能性を検討した。

#### 【研究内容】

建築物に対して、作用する外力やその応答の状況に応じた適切な特性を付与する上で、計測装置や機械的な機構を伴わないものとするためには、材料自身がそのような性能を有するものを用いることが考えられる。特に、ここで想定する外力である地震は振動現象であるが、振動によって変化する特性としては、ある種の流体に見られる「ダイラタンシー」「チクソトロピー」といった挙動を挙げることができる。この特性は、流体の構成要素間の相互作用によって生ずるとされており、作用するせん断応力に応じて速度勾配が低下・粘度が増大する性質をダイラタンシー、速度勾配が増加・粘度が低下する性質をチクソトロピーと称している。

ここでは、建築物について、中程度の地震に対しては一般の建築物と同じく静的な設計を可能とし、それを超える規模の地震についてはじめて制振・免震の効果を発揮することを想定して、チクソトロピー材料とその適用性について検討した。

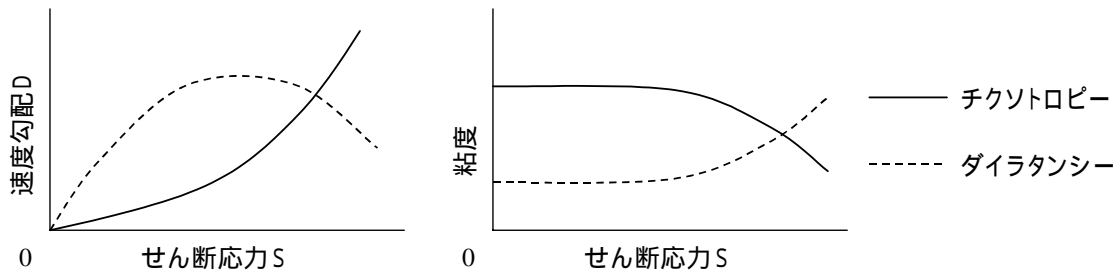


図1：チクソトロピーとダイラタンシー

【研究結果】

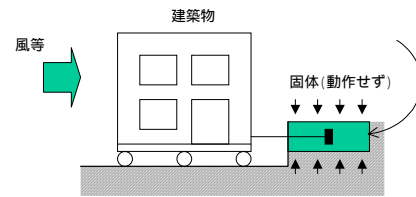
チクソトロピー性とは、簡単にいえば、かき混ぜることによって固体（半固体）から液体に変化する性質であり、このような性質を有する材料としては、例えばペンキや食材（ヨーグルト等）があるが、建築材料として想定されるものでは、固まらないコンクリート（フレッシュコンクリート）、合成スメクタイトやベントナイト（粘度の懸濁液）といったものが入手可能であり、このうち合成スメクタイトについては濃度及び加振条件（周波数及び速度）を変化させた実験の結果、高い濃度ほど液化には高い速度が必要になる結果が得られている。また、建物モデルを想定した加振実験では、建築物の応答速度の増大する共振周期付近の加振時において液化したチクソトロピー材料（濃度 2.25%）の粘性による応答の低減効果（約 20%）が観測された。減衰定数  $h$  は、0.03 から最大 0.13 程度まで変化している。また、ベントナイトのチクソトロピー性については、価数の大きな陽イオンの添加によってゲル化を容易にすることが可能であることが示されている。

図2に、チクソトロピー特性を有する材料の適用例を示した。これらのほかにも、基礎ぐいを二重管構造としてチクソトロピー材料を充填し地震時の地中変位に対応する構造などが考えられる。

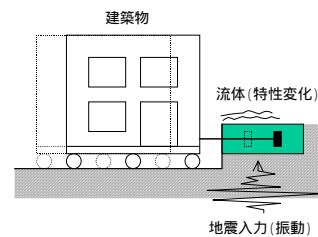
【参考文献】

- 1) 村上謙吉：「やさしいレオロジー 基礎から最先端まで」, 産業図書, ISBN 4-7828-3521-3
- 2) 尾崎邦宏：ポピュラーサイエンス「キッチンで体験レオロジー」, 裳華房, ISBN 4-7853-8648-7
- 3) 建築研究所、(財)日本建築センター：「日米共同構造実験研究『高知能建築構造システムの研究 平成13年度報告書』」, 平成 14年 3月
- 4) 山本喜一：「ベントナイトのチクソトロピー」, <http://www3.ocn.ne.jp/~yam/myexp/thixot.htm>

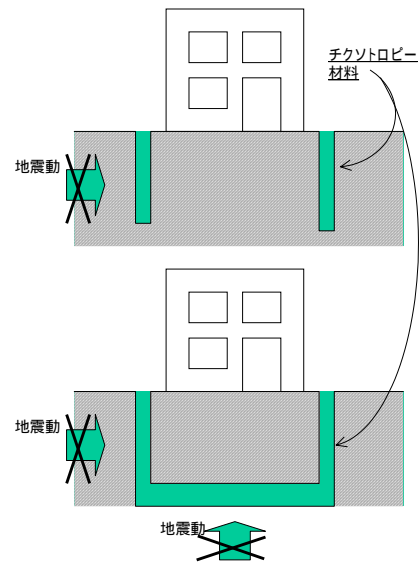
中程度・長周期の外力



最大級・短周期の外力(大地震)



(a) 免震との併用



(b) 入力の高減

図2：チクソトロピー材料の適用例