

- 3 自律的機構に関する研究

Study on Autonomous System for Building Structure

(研究期間 平成 14 ~ 15 年度)

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

井上 波彦
Namihiko Inoue

Synopsis- Since present active and semi-active system need external sensing devices and power supplies for vibration control, it is unavoidable to consider not only performance of algorithm but also reliability under rarely occurred earthquakes. The Building Standard Law and supplemental regulations lacks such consideration. Therefore, (semi-)active systems are difficult to be located in the Law. In this study a bentonite has been treated as a smart material which add autonomous behavior to building structure, Bentonite is a material that has "Thixotropy", a rheological behavior that shows significant decrease of viscosity under shear loading, and physical property usually associated with certain gels whose molecular bonds are disrupted by movement. Thixotropy is a contrastive phenomenon to the dilatancy 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 easily without any external, computer-controlled power source.

【研究目的及び経過】 建築構造および防災において、性能の向上のため、自律的な機構の導入が期待される。経年変化や大きな外乱が作用した際に、これまで、振動応答の制御という観点からは電氣的に指令を発して動作機構を変化させることで性能を向上させる技術が登場しており、そのような技術の一部は、日米共同構造実験研究「高知能建築構造システムの開発」において研究対象とされたが、そこで研究対象になっていないものとして、この種の機構変化を意識することなく自動的・自律的に行うことのできる構造とするための技術を探索し、建築構造への適用可能性を検討することを目的とする。

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。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）を満足できなくなったり、風等による無視できない常時の振動を生じたりするおそれがある。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

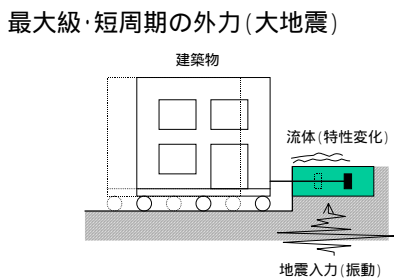
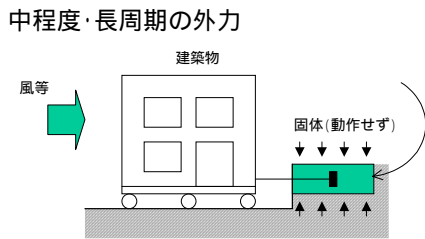
要があり、このため、逆に中程度の風による変形が過大になる（免震部材の変形限界を超えて逸走する）といった問題を生ずる。

このような状況を踏まえて、本研究では、自律的機構に関わる、材料、装置、構造システムなどの要素技術について調査し、自律的機構の実現可能性を有する材料としてチクソトロピー材料（流体の特性として応力の作用時に粘度が低下する特性を示す材料）を想定し、ベントナイトを対象に当該性能発現の条件や材料特性についての調査を進めた。

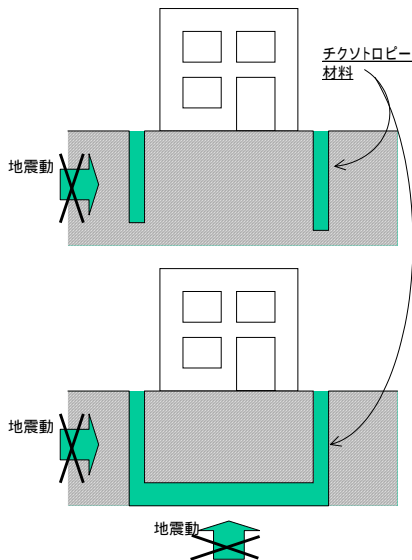
【研究内容】 建築物に対して、作用する外力やその応答の状況に応じた適切な特性を付与する上で、計測装置や機械的な機構を伴わないものとするためには、材料自身がそのような性能を有するものを用いることが考えられる。特に、ここで想定する外力である地震は振動現象であるが、振動によって変化する特性としては、ある種の流体に見られる「ダイラタンシー」「チクソトロピー」といった挙動を挙げることができる。この特性は、流体の構成要素間の相互作用によって生ずるとされており、作用するせん断応力に応じて速度勾配が低下・粘度が増大する性質をダイラタンシー、速度勾配が増加・粘度が低下する性質をチクソトロピーと称している。

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。具体的には、杭基礎を対象に、地

震時に応力の低減を図る機構に関して検討したが、それ以外にも図 1 に示すような利用例が考えられる。



(a) 免震との併用



(b) 入力低減

図 1 : チクソトロピー材料による自律的機構の例

【研究結果】 チクソトロピー性を有する材料として、図 2 に示すとおりベントナイトで作成した地盤内に模型杭を設置し、実大構造物実験棟の反力壁に設置された動的油圧ジャッキを用いた加振実験を実施した。図 3 に、結果の一例を示す。加振レベルを上昇させてゆくと、ある時点で杭の応答加速度の低減及び作用するひずみの低下現象(約 60%)が観測され、チクソトロピー性を有する材料による自律的機構の有効性が確認された。また、実験はいったん軟化した地盤の再度の固化を待って約 2

週間おきに実施したが、2ヶ月程度の実施期間ではチクソトロピー性は失われなかった。今後の課題としては、効果発現のための条件の特定と地盤材料としての安定性の確保、品質管理手法の規格化が必要であり、品質管理に関しては、基礎杭を二重管構造としてベントナイトを充填し、周囲地盤から有効に隔離する等の構造とすることなどが考えられる。

【参考文献】

- 1) 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
- 2) 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>

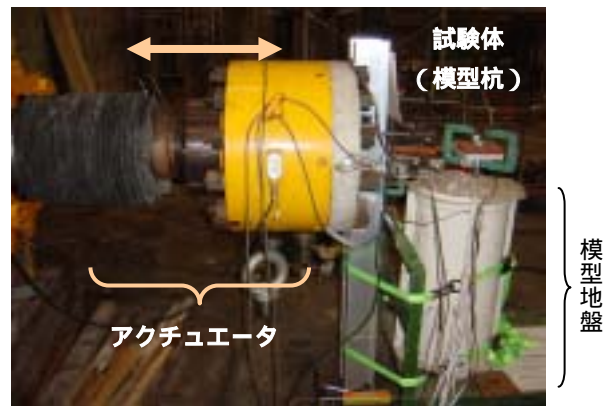


図 2 : 試験体設置状況

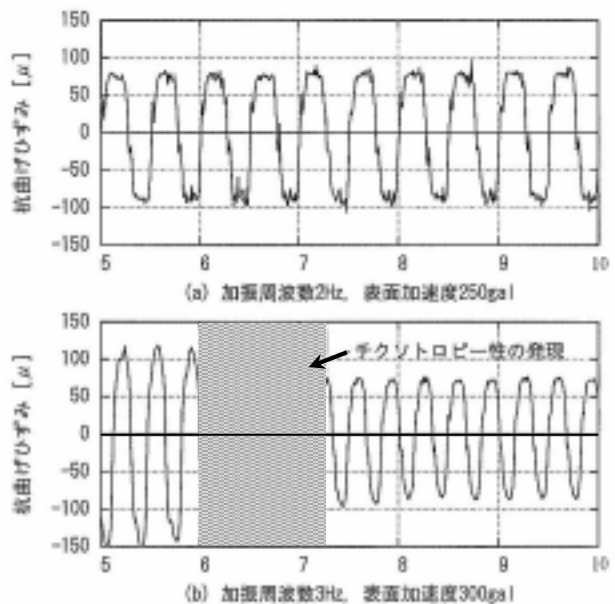


図 3 : 応答低減効果の確認