

石炭一水 混合燃料 (CWM) の振動安定性試験

薄井 洋基*・町原啓一郎**・佐野 雄二*

Stability Test of Coal-Water Mixture under Oscillation

Hiroto USUI, Keiichiro MACHIHARA and Yuji SANÔ

Abstract

A stability test equipment for Coal-Water Mixtures(CWM) was constructed. This equipment was able to give both vertical and horizontal sinusoidal oscillation to CWM. The experimental results of stability tests under a wide variety of oscillation condition showed that the depth of hard pack layer of CWM was well correlated by the maximum acceleration of sinusoidal motion. Taking into account of the oscillation condition detected by a tank-truck, the oscillation test conditions for the evaluation of the dynamic stability were proposed as follows;

1. a horizontal sinusoidal oscillation with the maximum acceleration of 19.6m/s^2 (2G) should be used,
2. and the oscillation time should be two days(48hours). The above mentioned oscillation conditions are thought to be enough to evaluate the stability of CWM during the long distance transportation by a tank-truck.

1. 緒 言

石炭一水、混合燃料（以下略してCWMと呼ぶ）の安定性はCWMの流動性と共にCWM調整技術上、最も留意すべき因子である。流動性の評価は各種粘度計を用いて多くの情報が公表されており、これらの結果を用いるとCWMのパイプラインによる定常輸送の設計が可能である。ところがトラブルによるプラントの停止時とか、タンク等におけるCWMの貯蔵時とか、タンクローリー、船舶によるCWMの輸送時には、CWMが元来、石炭と水の固液混合物であるため、石炭粒子の沈降を生じやすい。一度この沈降が生じるとCWMの再流動化は非常に困難であるので、このような事態は絶対に避けなければならない。そこで製造されたCWMが沈降分離を生じるかどうか、即ち安定であるかどうかを試験しておく必要がある。安定性の評価には通常二つの方法がとられる。一つは試料を静止して或る時間放置後、沈降が生じているかどうかを調べるもので、静止安定性試験と呼ばれる。この試験方法による実験結果はタンク貯蔵時の安定性の評価に有効

である。ところが国内で製造されたCWMを欧米での燃焼試験に供する為に送ったところ沈降分離が生じており使用不能であったとの報告例がかなり見られた。この現象は静止状態では安定であっても、振動を伴う輸送条件下で安定性が失われる場合があることを意味しており、数年前から国内の各メーカーではCWM製造プロセスのパイロットプラント建設と共に、この振動安定性試験の評価についても各社で独自に検討を重ねて来ているようである。ところが各社とも実験結果の公表をひかえており、未だ統一的な振動安定性の評価方法が確立されているとは言い難い。わずかに、Funk等¹⁾の報告が見られるが、後で述べるように彼らの振動条件決定の手順には論理的に厳密でない部分もあり、彼らの提案した振動条件には未だ検討の余地があるように思われる。そこで本研究では各種振動を定量的に与えることが可能である振動試験機を試作し、CWM振動安定性を評価するのに十分な標準的振動条件を決定することを研究目的とした。

2. 実験装置および方法

実験装置の概念図をFig. 1に示す。振動試験機はモータの回転をクランクにより水平および垂直振動に変

* 化学工学科

** 東海カーボン(株)

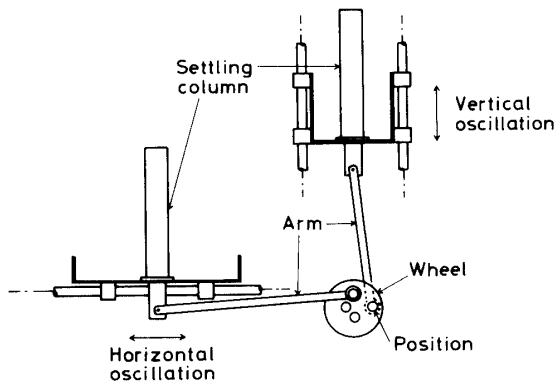


Fig. 1 Schematic of transportation simulator (oscillator).

換するもので無段変速機により回転数60~300rpmと変化させ、振幅は0.75, 1.5, 2.5, 3.5cmの4種類可変とした。振動機の変位を予め写真により測定することにより振動は正弦波振動であることを確かめてあり、上記の振動条件で算出される最大加速度は水平振動の場合で0.3~24.7m/s²の範囲となった。試料は直径36mm, 高さ180mmのガラス製円筒容器に上部に空気がないように密閉して入れ、所定の時間振動実験を行った。容器の直径が異ると側壁の影響で同一振動条件でも沈降層厚さが異るとFunk等¹⁾により報告されており、彼ら

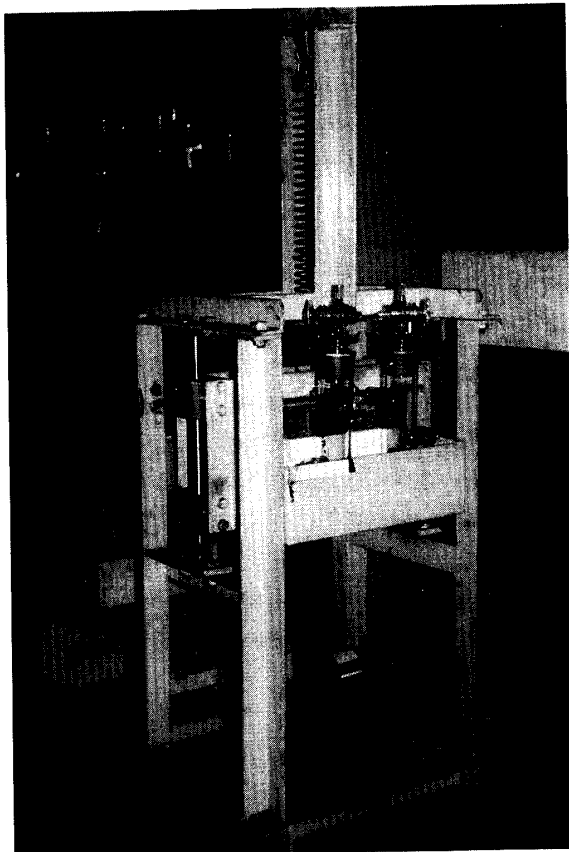


Fig. 2 Transportation simulator.

は直径76mmの容器が最適であるとしている。我々も容器の直径を変化させて検討を行うべきであったが、振動条件の設定には同一の容器で判定が可能であると考え、単一のガラス容器を用いて実験を行うこととした。Fig. 2に実験装置の写真を示すが、垂直振動時にはモータに対する負荷を軽減するために振動部分をバネで釣り下げている。

所定の振動を付加した後、棒貫入法によりガラス円筒容器底部に形成されたハードパック層厚さを測定しハードパック層が形成されない場合を安定とした。棒貫入試験に用いたのは直径3mmのステンレス製円柱で先端に直径10mm, 厚さ1mmの真鍮性円板を取り付け、全体の重量を30gに調整してある。本研究において棒貫入法により評価されたハードパック層厚さは振動試験後、ガラス容器を上下逆にしてすぐに流下しなかった底部圧密層の厚さと大体一致しており、ハードパック層の固体濃度は本実験の試料については69.4wt%であった。

試料として用いたCWMは以下のように調製した。石炭試料はアバディア炭：大平洋炭=8：2の混合炭を出光石油化学(株)徳山工場で微粉炭燃焼用に乾式粉碎したもので、その粒径分布をFig. 3に示す。本試料に水を加えて固体濃度51.5wt%のCWMに調整し、添加剤としてβ-ナフタレンスルホン酸アンモニウム塩のホルマリン縮合物(商品名ローマPWA-40, (株)三晶)を0.2%/slurry加えた。本添加剤は分散剤としての機能のみを有しており、通常CWMに加えられる安定化剤としての添加剤は加えられていないので、比較的不安定な試料と言える。また振動実験においてハードパック層厚さの測定が容易であるように、固体濃度を種々検討し、上記の固体濃度に決定した。試料の見かけ粘度は20℃, せん断速度31.1 s⁻¹において、 $\eta = 0.118$ [Pa·s]であった。

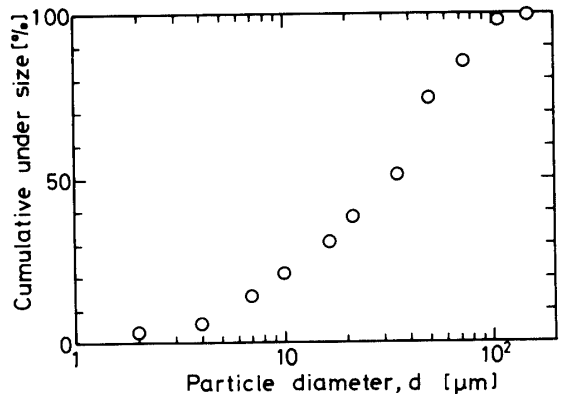


Fig. 3 Particle size distribution.

3. 実験結果と考察

振動安定性試験機の振動条件の決定に当っては以下の二点に留意すべきであると考えられる。第一に振動が実際の輸送プロセスの振動を良くシミュレートしていること。これについては実際の輸送試験を行う以外に方策がなく、実験室規模の振動試験機では単純な（例えば正弦波）振動を用いざるを得ない。第二に正弦波振動のどのような振動条件が実際の輸送プロセスと良く対応するかを検討する必要がある。Funk等¹⁾ は正弦波振動における最大加速度一定の条件でハードパック層厚さを測定し振幅が1.9cmの条件で最も沈降が激しいとした。(後述のFig. 5中、■印のデータを参照) 更に彼等はこの振幅 (1.9cm) を一定に保ったまま、振動数を変化させ最大の沈降効果を与える振動数を232rpmと決定した。Funk等の決定方法では振幅と振動数の組み合わせの或る位置で最適解が存在する事を意味しているが、その探索方法は上述の実験手法では不十分である。そこで我々は実験可能な振幅と振動数のすべての組み合わせについて安定性試験を行った。この際、振動付加時間は5時間とした。得られた結果をFig. 4に示す。図より水平振動の方が垂直振動よりも沈降が激しいことがわかる。また実験範囲内では、振幅と振動数の或る特定の組み合わせのところで最大の沈降特性が得られる現象は観察されず、振幅、振動数が共に大きくなる程ハードパック層は厚くなることわかる。またFunk等の言うように最大加速度一定の条件で、特定の振幅値のところで最大の沈降が観察されるかどうかを調べた結果がFig. 5に示してある。非常に振幅を小さくした場合とか、その逆の極限の条件ではハードパック層厚さは小さくなる予想されるが、Fig. 5に示した実験条件の範囲内ではハードパック層厚さの測定誤差を考慮すれば最大加速度一定の条件下では振幅、振動数の組み合わせに無関係に沈降状態は変化しないと判断されるであろう。

以上の考察よりハードパック層厚さの実測値を正弦波振動の最大加速度で相関できる可能性があると考えられたので、水平および垂直振動における実験結果を相関してみた。その結果をFig. 6に示すが良好な相関性があると判断される。Fig. 4~Fig. 6を通してわかるように水平振動を付加した場合、垂直振動を付加した時よりもハードパック層は厚くなる傾向がある。この現象は既報の文献では垂直振動に関する実験値が無いため報告されていない。またその原因については現在、推測の域を出ないが、水平振動の場合は水平方向加速度による力と重力との合力が石炭粒子に回転力を

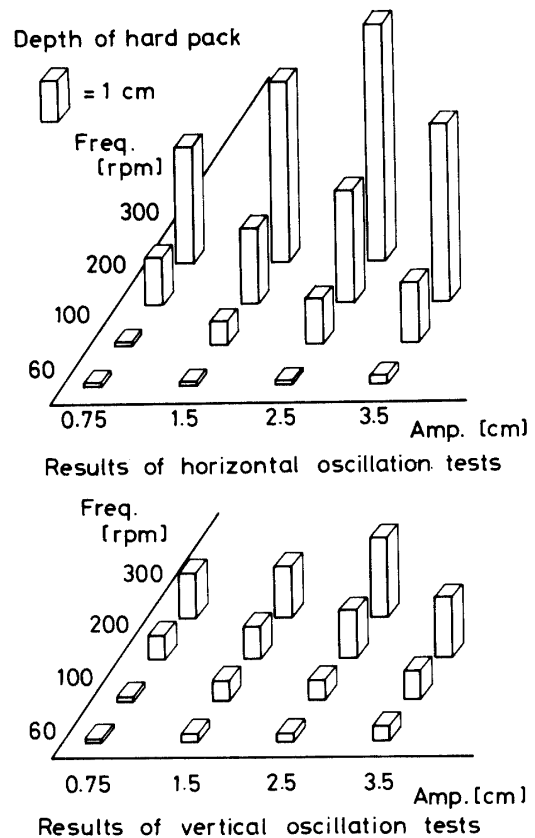


Fig. 4 Experimental results of hard pack depth measurements (oscillation time = 5 hours).

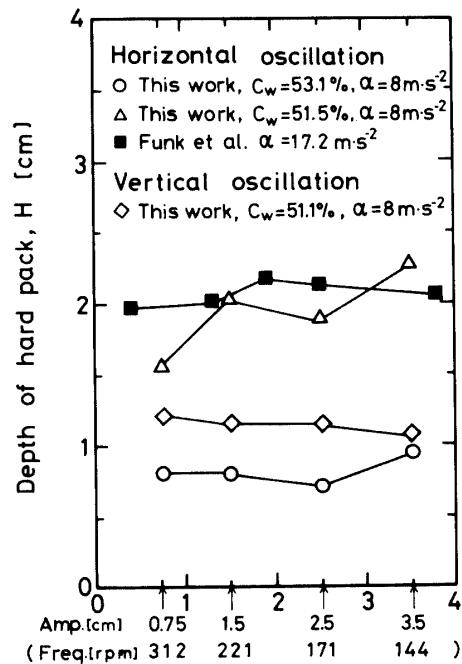


Fig. 5 Effect of varying oscillator conditions on stability of CWM under a constant acceleration (oscillation time = 5 hours)

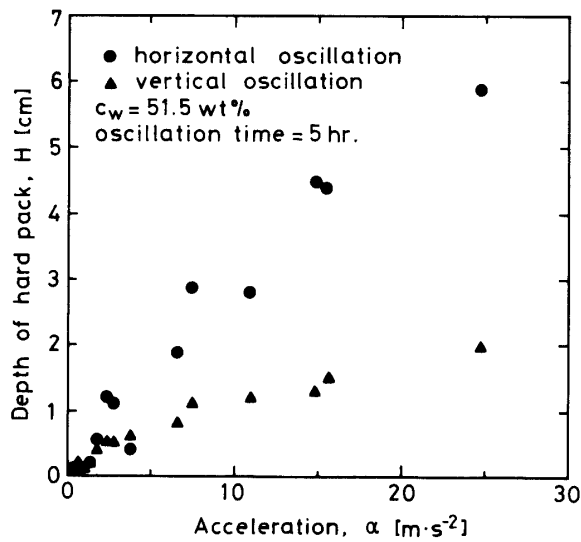


Fig. 6 Correlation of hard pack depth by the maximum acceleration.

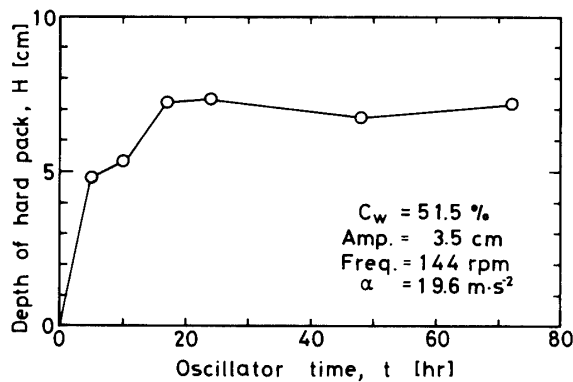


Fig. 7 Effect of oscillator time on stability of CWM

与える可能性があり、この回転力が粒子間の内部構造を破壊するためとも考えられる。いずれにしても今後、この現象の解明のために検討を続ける必要がある。なお、実用に供される程度の高濃度CWM ($C_w=67.0\text{wt}\%$) について $\text{pH}=8.7$ と安定限界に近い状態に調整した試料について、後で述べる本研究で提案した振動安定性試験条件の振動を付加した結果、垂直振動で5mm、水平振動で11mmのハードパック層が観察され、高濃度域でも水平振動の方が沈降に及ぼす効果が大きいことが確かめられた。

以上の実験結果は振動付加時間を5時間に固定して来たが、振動付加時間の効果を調べるために最大加速度 19.6m/s^2 で3昼夜連続運転を行った結果をFig. 7に示す。これより本実験に用いた試料では1昼夜経過後は沈降は平衡状態に達しており、それ以後の振動付加は意味が無いと判断される。しかしながら実用に供

されるCWMは数日間の振動付加後もハードパック層はほとんど見られないのが通常であり、その様なCWMの振動安定性の判別には出来るだけ長時間の振動実験を行うのが良いと言える。以上の考察より本研究で試作した振動安定性試験機によるCWMの動的安定性の評価実験には、出来るだけ高い加速度の得られる振動条件で、出来るだけ長時間振動を加えることが望まれることがわかる。具体的には本試験機が船舶によるCWM輸送時のような低周波振動のシミュレーションよりも、むしろタンクローリーによる陸上輸送時の振動シミュレーションに適した構造になっているので、トラック輸送時の加速度を調査した。トラック輸送時の車体各部に加わる加速度の測定結果は、車の性能評価につながるものであり公表されていないが、某自動車メーカーからの私的情報では、通常走行時の発進・停止における水平方向の加速度は0.5G(ただしGは重力加速度)程度であり、垂直方向の加速度は舗装道路で約2G、オフロードで約4Gとのことであった。Fig. 6に示した結果より水平振動で2G ($=19.6\text{m/s}^2$) の条件では垂直振動の相関線を外挿して4G以上の条件でのハードパック層厚さに相当すると考えられる。機械的に4G程度の振動を長時間加えることは本実験装置では困難であったので、水平振動で最大加速度を2Gとすることを振動条件と定めた。実際の走行時にはこのような加速度が常時繰り返して付加される訳ではないので、2Gの水平振動(具体的には振幅3.5cm、振動数144rpm)はかなり過酷な振動条件と言えるであろう。振動付加時間については2昼夜(48時間)とすることとした。これは先に述べたように長ければ長い方が良いと思われるが、トラック輸送の場合、時速50kmで2昼夜連続で走れば走行距離は2400kmに達し、現在のほとんどの産炭地から港までの輸送距離をカバーできると考えたからである。

以上の振動試験の条件を用いて、現在実用化可能と考えられる高濃度石炭一水、混合燃料の動的安定性試験を行いつつあるが、それらの結果の公表は他報²⁾にゆずることとして、本報告では振動安定性条件の決定の過程を述べた。

4. 結 言

石炭一水、混合燃料の輸送・貯蔵時における動的な安定性を評価するために振動安定性試験機を試作した。広い振動条件のもとで安定性試験を行った結果、以下の結論を得た。

1) 実験条件の範囲内ではハードパック層厚さは加速

度によって相関される。

- 2) 理由は明らかでないが、垂直振動よりも水平振動の方が沈降に及ぼす効果大きい。
- 3) 以上の実験結果と実際のトラック輸送時の振動条件を考慮して、最大加速度 $2 G (=19.6 m/s^2)$ の水平正弦波振動を2昼夜(48時間)付加することによりCWMの振動安定性が評価できると考えた。

謝 辞

微粉炭を御提供いただいた出光石油化学株式に感謝致します。また本研究を行うに当って宇部興産(株)宇部研究所の佐々木一郎、中井成行、沢田守彦氏との討論を通じて得るところが多かったことを付記し、深謝致します。

参 考 文 献

- 1) Funk, J.E., B.R.Dinger, J.E.Funk, Jr. and D.R. Dinger ; Proc. 6 th Int Coal Slurry Combustion and Tech. Symp., 862 (1984)
- 2) Usui, H and Yuji Sano ; Proc. World Congress III of Chemical Engineering, w-405 Tokyo (1986)

(昭和61年4月15日受理)