

He-Cd レーザー光による杭のリバウンドの測定

西 脇 彰*, 三 上 孝 義*

A Measurement of Rebounding of Concrete Piles with He-Cd Laser Beams

Akira NISHIWAKI* and Takayoshi MIKAMI*

(Received August 18, 1973)

This paper reports a measurement of rebounding, followed by impact of concrete piles with He-Cd laser beams. The procedure is to record the traces on oscillograph paper exposed to a laser beam transmitted from a fixed point. The oscillograph paper is filtered against the daylight, but sensitive to the laser light around 4416Å. It is attached on the concrete pile and aimed at by the laser transmitter. With this method we obtained clear traces of rebounding of concrete piles in the daylight.

1. 緒 言

土木工事における杭の打込みは基本的な作業であるが、その打込過程の定量的な追跡はまだ十分にされていないのではあるまいか。それは測定方法が意外にむづかしいからである。人が手にエンピツを持って杭に着けた用紙に軌跡をつける方法は手軽ではあるが、熟練を要するし、ハンマーの真近かで行わねばならず、杭の破壊に対して危険が伴う。杭に発光体や反射鏡などをとりつけても衝撃の瞬間に飛び散ってしまい、打つ直前とその直後の静止状態しか測定できないからである。打込まれている杭の動的な軌跡を、熟練を要せず、しかも短時間内で、すなわち、少くとも工事の進行にみあった時間内に測定結果の判断が下せるような方法がないものであろうか。

ひとつの解決策として、杭に感光紙をはりつけ、打込場所から離れた固定点からレーザービームを飛ばし、これを参照点として感光紙自体の動きを記録する方法が考えられる。通常の計測用オシログラフでは、光ビームの動きを一定した速度で送っている感光記録紙に記録させるのであるが、この方法は動くものが逆になるわけである。レーザービームはエネルギー密度が高く、方向性、集束性良く10m以上遠方から照射できるので、杭には、紙製のケースに入った全くの受動素子である軽量の感光紙をはりつけるだけでよい。打込みの後、ケースをはがし感光した像をみれば、杭の動きそのままの軌跡が得られる。この方法には、物理量の変換系が介入しないため、

杭の動きの絶対値が一目瞭然判断でき、レーザービームを一定速度で掃引させたり、適当な時間間隔でチョップしてタイムスケールを入れることにより、動きの速度も知ることが可能である。

この方法を現実化する際考えられる境界となる条件は、次のようなことがらである。昼間の作業現場で、10分間程度太陽光に露されていても、特定の波長の光に感度を失わない記録紙は手に入るか。工事現場に持込めるレーザー照射機が当面の技術で可能か。打込み速度、毎秒5m程度に記録が追従できるか。等である。

これらにつき著者らは、いくつかの予備実験を行い、めどをつけ、コンクリート杭の打込み作業現場で実際的な記録をとることができるようになった。その結果を報告する。

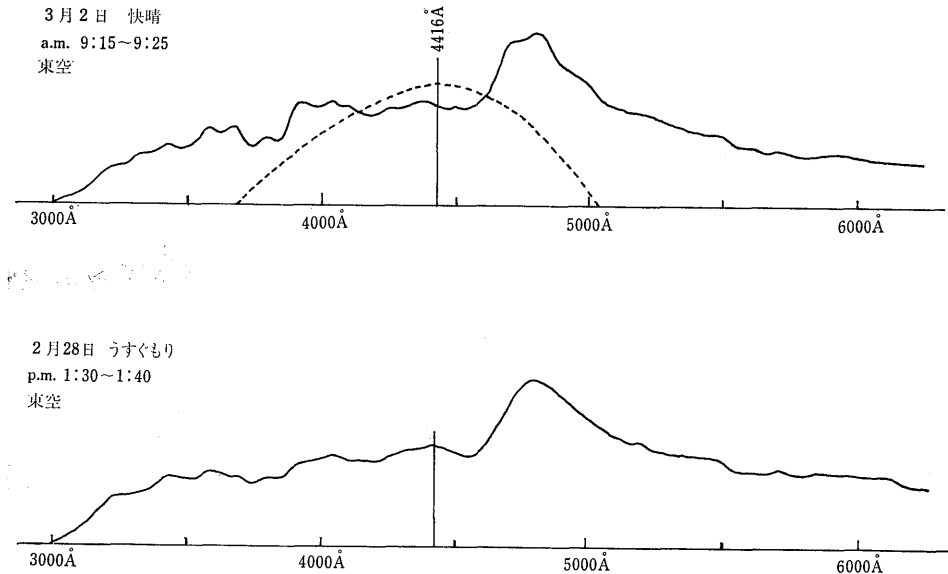
2. 予備実験

光源としてのレーザーに要求されることがらは、取扱いが簡単で安定に動作し、市販価格が適当でありかつ光線が危険でないことなどである。それには He-Ne ガスレーザーが最も適しているように思われる。しかし、この発振線は波長6328Åの赤色にあるため、化学変化による感光速度を十分にあげることがむづかしい。炭酸ガスレーザーで焼き切ることも考えられるが、危険性がある。アルゴンイオンレーザーは発振線の位置が、後に述べる太陽光のエネルギー分布曲線の最大値付近に一致し、太陽光の妨害を避けるのが困難であろう。これらに対し、ヘリウム・カドミウム金属蒸気イオンレーザーは、最近では動作も安定し扱いやすい装置が市販されるようにな

* 電子工学科 (Department of Electronic Engineering)

っているし、発振波長が4416Åの青紫と短く化学反応を起させる応用には適している。発振能率も良く、太陽光エナジピークからも外れているため、適当なフィルターを併用すれば、この応用には最も適している光源レーザー

ーといえる。予備実験には、金門電気㈱製の放電管を用いた最大出力30mWの据つけ型 He-Cd レーザーを、現場での実験には、同社製 5 mW可搬型レーザーを使用した。



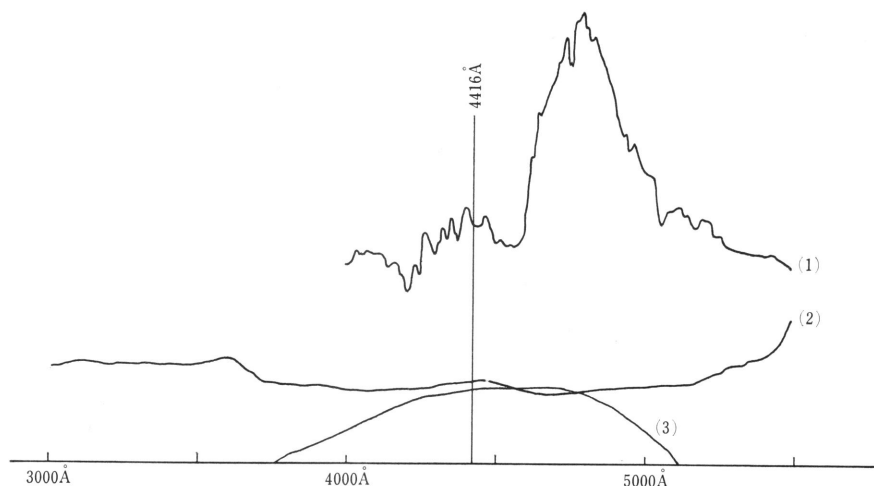
第1図 昼間の光のエナジスペクトル。点線は感光紙の感度特性。

感光紙は、4400Å付近にのみ感度を有し、紫外、太陽光エナジピーク付近には感光せず、高速のトレースにも追従できかつ、現像処理が簡単であるという要求を満たすものを、市販感光紙の中から選ぶことにより決定した。太陽光エナジ分布は、第1図の実線の如くであり、上のカーブは、快晴の午前中を東の空からの光をサンプルした測定であり、下側は、曇天の午後、東の空からの光についてのものである。絶対的な強さの指示ではないが、エナジ分布については、快晴、曇天、午前、午後の変化はほとんどない。これらを考慮し、オリエンタル写真商事㈱から市販されているオリエンタルオシログラフペーパーDVタイプNCを選んだ。この感光紙の感度波長特性は第一次露光（像をつくるための露光）について、第1図の点線に示したようである。同図に示してある He-Cd レーザー線4416Åとはよく感度中心が一致しているが、太陽光エナジピーク近くにも幾分感度を有するのが難点である。これは適当なフィルターを通し実効感度曲線を変えることにする。記録線速度は、最適条件下で1000m/secであり、現像は一次露光の後、室内で蛍光灯の光に照らせば、5分以内に安定な目に見える像として固定するので、扱いは簡単である。このように光源と感光紙とをきめてしまうと、太陽光に対するフィルター

が問題となる。4416Åに対して干渉フィルターのような狭帯域通過特性のあるものを使えば原理的には、解決されるが価格的に無理である。やはりゼラチンフィルターで望ましい特性のものをつくることを考えるべきであろう。フィルターの作製は経験のあるオリエンタル写真工業㈱に依頼しいくつかのサンプルをつくってもらい、著者らの実験室で太陽光に対する保護特性、レーザー光に対する感光特性を実測した。ここで使用されたフィルター染料は、タートラジン（最大吸収波長域4260Å）、エリスロシン（最大吸収波長域5260Å）、ニューコクシン（最大吸収波長域5070Å）等である。フィルターベースはアセチルセルローズフィルム、ポリスチレンフィルム、ポリエチレンテレフタレートなどの、透明フィルムである。これらの遮光フィルターはあまり狭帯域でないから一次露光の光に対してもバックの太陽光とはほぼ同じ減衰を与えるので、画像をつくるためには、フィルターなしのときにくらべ、強い露光が必要になるわけであるが、レーザー光の輝度は、通常の発散光にくらべてすぐれているため、潜像形成にじゅうぶんな光量を与え得る。フィルターを使わず、青空の下で、レーザー光による感光テストを行った場合、太陽光の直射を受けなくても、1分間以内に、像は形成されなくなる。これに対し、上記

の染料によるフィルターをつけて太陽のうす日に直射させ、露光時間を5, 10, 15, 30, 45分とかえて、その後にフィルターの上からレーザー光4416Å約10mWを照射し、その軌跡をしらべた結果、ニューコクシンフィルタ

ーで、30分間まで、耐えられるものが得られた。ただし照射の際レーザービームは光学系により、感光紙面で焦点を結ばせてある。このフィルターの太陽光に対する透過特性は第2図のようである。この図の(1)は太陽光直接



第2図 遮光フィルターによる太陽光の透過スペクトル(2)

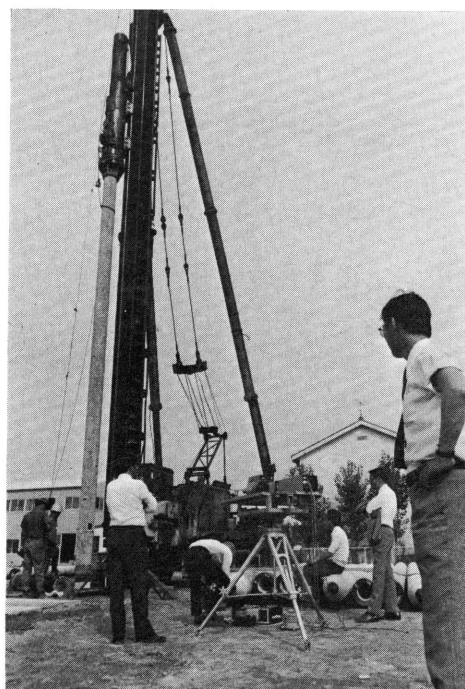
(1)は太陽光スペクトルで(2)の40倍に相当。

(3)はフィルター特性×感光特性のカーブ。

のスペクトルであり、(2)はフィルターを通した後のスペクトルである。ただし受光計の感度は、(1)に対し(2)は40倍、すなわち、(2)は(1)の40分の一の弱さになっている。第2図の(3)は、フィルターを通過した光に対する感光系の感度曲線である。概算して、20秒の太陽光に耐えられる感光紙ならその40倍の約15分間に耐えられることになる。杭打ちの模擬実験として、60φの丸太に、フィルターをつけた黒色紙ケースに感光紙を入れてテープ止めし手持ちのハンマーで山土に打ちこんでトレースをとって見たが、杭の動きを明確にとらえていた。ただし、実験条件は、快晴正午、5分間の太陽光露光、フィルター前でのレーザー出力約3mW、240サイクルで時間目盛を入れたものを、感光紙面上に焦点を結ばせたものである。このとき打込みの線速度は、最大3.2m/sec程度であった。これから、上記の条件下であれば、実際に応用しうることがわかった。

3. コンクリート杭のリバウンドの測定

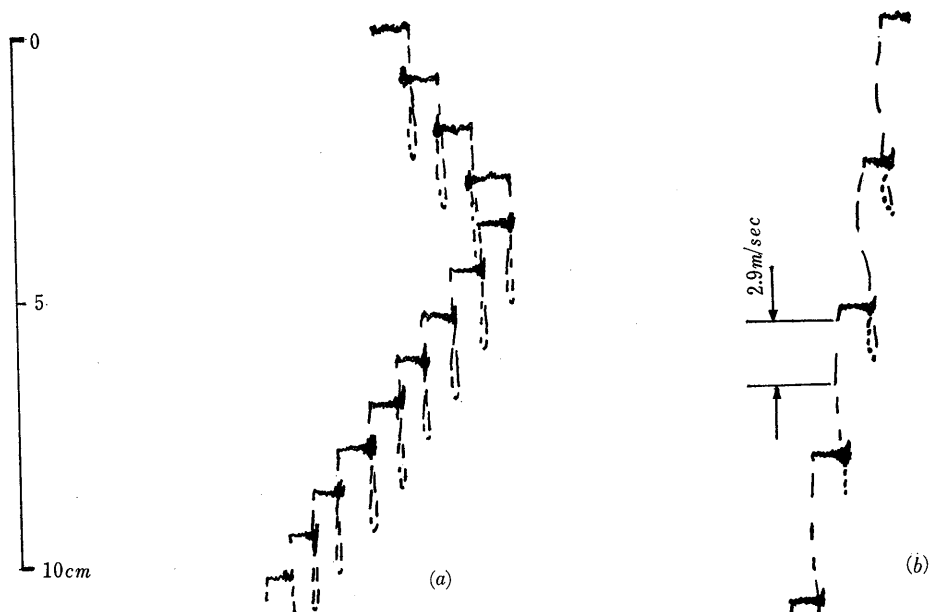
この技術を実際の杭打ちについて、日本コンクリート工業(株)名古屋営業所の好意により、昭和48年6月26日から30日にわたってテストすることができた。レーザー発振器は、金門電気製5mW出力のものであるが、感光紙に到達する間に入る反射鏡やレンズ系のため減衰し、実



第3図 コンクリートパイル打込み現場とレーザー測定装置。48年6月28日 岡崎市立矢作東小学校新築工事現場。

際には約1mWがフィルターへ入射するのみであった。この点は装置を設計する際に注意すべきである。光学系は、240サイクルのチョッパーと、10m先方へ焦点を結ばせるための、10倍の顕微鏡対物レンズと400mmレンズの組合せおよび、光ビームを杭のところで水平方向に、約1cmづつずらせる手動の可変反射角の反射鏡などで、これらをレーザー発振器とともに回転、あおり、などが可能な三脚に乗せた。感光紙は、フィルターを前面においた、黒色紙のケースに密封し、フィルターの前に更にすぐにやぶりとれる黒色紙が保護のためにとりつけられ

た。対物レンズを微動することにより、杭の面に焦点をあわせ、杭にケースに入った感光紙を接着テープではりつけ適当な位置にまで杭が打ちこまれたとき、保護の黒色紙をはがして、レーザーで照射する。一回のハンマーの動きに応じて、ビームを水平にふり、トレースが重ならぬようにした。しかし手動ではなく、わかっている一定の速度で掃引するようにすれば、オシログラフのように、横軸を時間目盛としたトレースが得られる。これは今後改良の予定である。今回得られたトレースは、ハンマーが落ちて杭がリバウンドして落着いた後、1cm/



第4図 350φコンクリートパイル打込みのレーザーによる記録、1回の打込み毎に軌跡を水平方向にずらせてある。

sec ぐらいの速度で次のハンマーの落下をまつ位置に動かし、静止させてとったものである。第3図は、岡崎市立矢作東小学校新築工事で、PCパイル JIS-A種350φ-21m (11+10) の打込み作業中の写真で、コンクリート杭の下部に見える四角い感光紙ケースを示すものである。三脚には、レーザーと光学系がのっている。第4図が得られた結果である。チョッパー周波数から、1周期の長さが10mmの箇所は、2.4m/sec の線速度に相当している。

3. 検 討

第4図の軌跡は、熟練したエンピツ手持ちの方法で得られたものとよくあうものであった。はじめ、ハンマーの衝撃でレーザートランスミッターが振動をひろうかもしれないと心配されたが、記録からみると、ほとんど、悪影響を及ぼさぬことがわかった。しかし、20m程度、離

れた地点からビームを送るなどして、もっとはっきりと振動の影響を述べなくてはならぬであろう。第4図aは、かたい地層にゆきあたっている場合であり、bはそれにくらべよく入っている場合であるが、線速度変化が両者でかなりちがっている点は興味あることである。今回用いた実験装置は、現場の使用に耐えうるかという面から見れば全く不満足なものであるが、改良の余地はあり、現在その準備をしている。この装置は、本質的に望遠鏡に相当した光学系を要するから、トランシットの役割を任せることができし、レーザー光を直線的に水平、鉛直方向などに自在に送りうるため、よりひろい用途をもった土木工事に用測機として開発されてもよからう。

4. むすび

He-Cd レーザー光を参照第一次露光光として、前面に太陽光に対する遮光フィルターをおいたハロゲン化銀

現像型焼出し感光紙を感光させ、感光紙がとりつけられた杭などの動きを直接追跡する技術を開発することができた。これにより、コンクリートパイルのリバウンドの様子を鮮明に記録することが出来た。まだこれを作業現場へもちこむには、満すべき条件が多すぎるが、それを克服することは可能と思われる。

おわりに、本報告をまとめるにあたり、本研究のアイデアを出され、終始ご指導給った名古屋大学電子工学科服部秀三教授に心から感謝致します。予備実験をよく手伝って下さった本学電子工学科学生細井時雄君に、フィルター作製の担当していただいたオリエンタル写真

工業株式会社研究部の森野研路主任 研究員に、可搬型 He-Cd レーザーの作製と実地試験でひとかたならぬ協力をしていただいた金門電気株式会社の徳留勝見、石川道夫両氏に、工事現場での測定に便宜をはかって下さり、実際にいろいろご指導下さった日本コンクリート工業株式会社、名古屋営業所技術課の梁島郁夫氏および同名古屋営業所服部貞夫技術係長に、実験に立会い助言を給った本学建築学科橋本敏秀教授に、そしてこの研究にとくにご援助下さいました本学三浦学長、徳広副学長、金原電子工学科主任教授に、お礼を申し上げます。