

1906年にサンフランシスコに大地震とそれに続く大火災を発生させ、また1989年“ベイブリッジ”ワールドシリーズ第3戦がまさに始まろうとしていたときベイブリッジの大惨事を引き起こしたサンアンドレア断層は、世界的な悪名を被ってしまった。しかし、人口の密集したベイエリアで多数の犠牲者を出すような大地震を心配している地震学者たちは、むしろハイワード断層と呼ばれるあまり知名度のない亀裂をより懸念している。ハイワード断層はサンフランシスコ湾の東側に沿って約50マイルにわたり、合計100万人以上もいる市や町の直下を走っており、非常にずれ易いため北カリフォルニア州で最も危険な断層であると考えられている。地震学者らは最近になって30年以内にハイワード断層に沿って大地震(レクタースケール6.5以上)が起こる確率は約1/4であると予想している。この危険性については十分に確立されているといえるが、地震学からはハイワード断層はまだ十分に研究されておらず、インフラを準備し、人命の損失を最小限にする必要があり、断層の活動をさらによく理解すべく、より徹底した研究が必要であると感している。

ハイワード断層に関する更なる情報を収集することに集中している団体のひとつにバークレイ地震研究所(BSL)がある。BSLはUCバークレイに本部を置き、UCの科学者がスタッフとなりハイワード断層に関する情報収集のさまざまなプログラムに従事し、断層線に沿ったさまざまな活動が、サンフランシスコのベイエリアの人たちやインフラに与える可能性をもつインパクトのアセスメントをしようとしている。この記事にはハイワード断層を研究した3つのBSLのプログラムについての結果、プロセス、データ収集機器について概略が述べられている。

設置は簡単、持ち運び可能な短期間研究用システム

BSLは長期、短期両方にわたり研究をしている。短期研究のひとつでは、一般的には大地震のあと数日間起こる余震に関するより多くの情報収集が行われている。大地震の後では何百、何千の余震が起こりうるが、それらは重大な損害を引き起こすのに十分な強さを持ち、それらを予測できない場合救済活動において困難と危険が増大する。

BSLは余震についてより深く理解するために地震直後に素早く、狭い場所にも設置できるセンサーパッケージを設計した。この地震計は「キューブ」と呼ばれ、内部に3つのセンサー(ウィルコクソン社モデル731A加速度計)を備えたアルミ製の箱で出来ている。これらセンサーの1つは垂直方向の、残り2つは水平方向の地震活動を測定し、それぞれが直行するよう設置されている。これらのセンサーは全天候型ハウジング内でデジタルデータレコーダーとケーブルでつながれている。設置は地中に1メートルか2メートルの深さでキューブを埋めるだけという簡単さで、BSLはこの10個のデータレコーダー/センサーパッケージをすぐに設置できるように手元に置いてある。ベイエリアは1989年以来比較的落ち着いた状態にあるのであまり使用されていないが、以前はロマ・プリータの余震用に使用された。

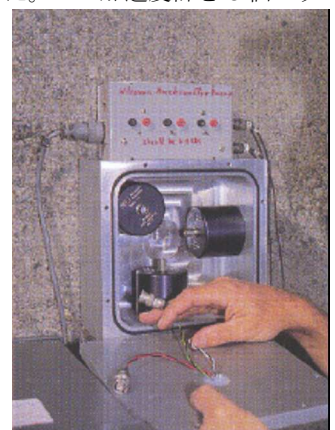
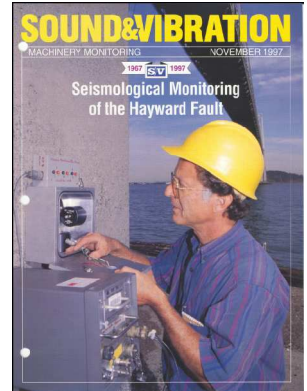
ハイワード断層ネットワーク

より大規模で長期的な研究計画では、断層線に沿った戦略的な場所に設置されたボアホールのネットワークを通して、ハイワード断層をモニターすることが必要となる。このプログラムはUS地質調査研究所(USGS)と協力して管理され、およそ5年前に始まった。典型的な手順はやわらかい表面のセメントの下にある硬い基礎の岩にドリルで穴を開けたボアホールの底に地震計のパッケージをセメント付けすることだ。これらのボアホールは通常300~400フィートの深さになるが、問題となっている場所の地質的な構造によってはさらにもっと深く、狭くなることもある。ネットワークは現在も拡大しているが、現在はUSGSに管理されているハイワード断層の南側部分に沿った6箇所とBSLに運営されている北側部分に沿った7箇所構成されている。

このアプリケーションではボアホール・パッケージ用のセンサーに厳しい要求を課すことになる。低騒音の動作が極めて重要で、数少ない敏感な低ノイズの加速度計のみが(大地震のみならず)小規模の地震を計測可能で、(交通網のような)インフラなどによる騒音と、本当の地震によって起こる振動を区別できることが必要である。ボアホールからのデータを収集するオーダーメイドのセンサーパッケージを設計するのにBSLはさまざまなタイプの加速度計を経験しているローレンスバークレー国立研究所の地質測定部門の技術スタッフを訪ねた。

それまでの経験に基づいて極度に低ノイズの要求に見合ったメーカーとしてウィルコクソン社のモデル731A地震センサーがプロジェクト用に選ばれた。この加速度計を3個パッケージの内部で互いに直行するように取付ける。この配列では1個を垂直に、2個を水平に取付ける。パッケージには地面の振動速度を測定する小型で単純な装置である「ジオフォン」も含まれている。パッケージの外側の覆いはステンレススチールのチューブ(直径3インチ×長さ4フィート)で、パッケージは基礎となる岩によってある深さに一度置かれると、表面の最新データ収集装置センサーから出ているワイヤーでボアホールに永久的にセメント付けされる。データは高速の専用電話線か無線によってBSLに送られ、そこで北カリフォルニア地震データセンターに保存されるが、それらはインターネットで全ての研究者に入手可能となる。

このセンサーパッケージはハイワード断層に沿った橋が地震にどう反応するかという類似の研究にも使用されている。カリフォルニア大学とそのローレンスリバモア国立研究所と共にカリフォルニアの道路と橋のメンテの責任を担っている



機関であるカルトランス（カリフォルニア州運輸省）が、計画のこの部分をサポートしている。カルトランスは最近、基本的な物質の工学的特性を測定するためにサンフランシスコ湾にかかる橋に沿った大規模なドリリング計画を実施した。BSLの要求に基づき、カルトランスは基礎となる岩盤に開けたいくつかの穴をより深く掘っていき、センサーパッケージの据付け、セメントでの固定、表面へのワイヤーでの固定を行った。現在、13個のセンサーパッケージが据付けられているが、これらはベイブリッジに6個、リッチモンド・サンラファエルブリッジに2個、カーキナス・ストレイトブリッジに1個、サンマテオブリッジに1個、ダンバートンブリッジに3個設置されている。

すべての橋ではスタンドアローンのデータレコーダーを使用しており、BSLの職員がそれらの場所を訪れ、データを収集するために定期的にディスクを交換している。しかし、来年中には研究者が高速の遠隔計測リンクを設置するため、ハイワード断層（橋を含む）に沿ったすべてのボアホールからのデータは自動的に北カリフォルニア地震データセンターに送られて来ることになる。

基礎地震研究とエンジニアリングに基づいたアプリケーションとのバランス

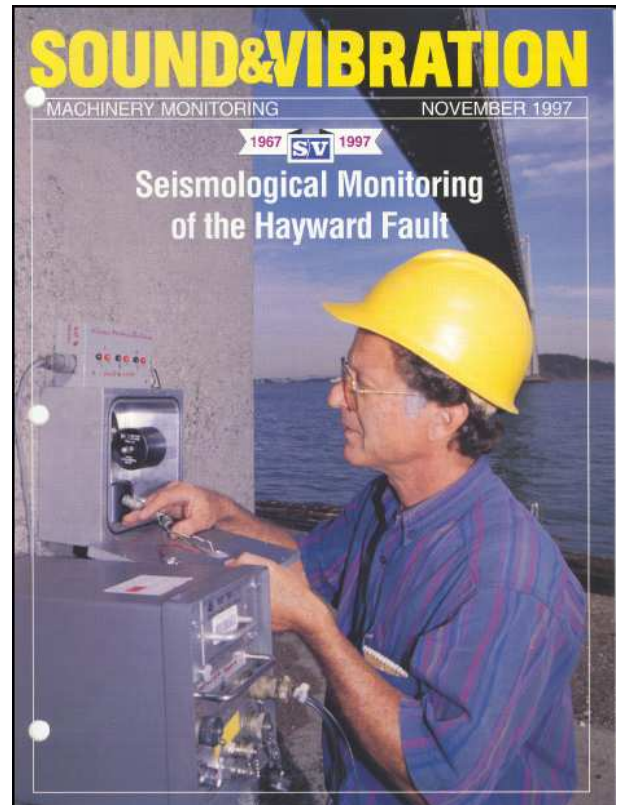
ハイワード断層に沿った地震調査計画には二つの目的がある。科学的な側面においては、ハイワード断層での情報を収集するためと、イーストベイのどこでどんなパターンの地震が起こるのかをより深く理解することである。専門家が数十年のうちにはハイワード断層に沿って損害を及ぼすであろう地震を予測しているという事実があるにもかかわらず、この記事に述べられているネットワークの確立まで、この地域の地震計の設置は驚くほど貧弱であった。ハイワード断層の地震計からの情報はBSLが所有する北カリフォルニア周辺の15広域地震計ステーションの従来のネットワークによって補われている。USGSは独自のネットワークも運営しており、ネットワーク間で共有される情報とシナジー効果により、一般的地震作用、とりわけハイワード断層においては理解が深まると期待されている。

一方、実践的な側面においては、モニタリングプログラムによりベイブリッジのより強化という特別な工学的応用が考えられる。地震の際には、その範囲内の深い地面に設置されたボアホール地震計が地震の入力に基づいたデータを供給し、また一方、カリフォルニア鉱山・地質学部門が管理する範囲に設置された一連のセンサーが実際の橋の反応（揺れ、ゆがみなど）を計測する。2つの情報源からのデータは高度なソフトウェアとハイエンド・コンピューティング機能を保有するローレンスリバモア研究所によって分析される。その結果は、橋がどのように地震に反応するかについてより正確な、そして現実像を提供するとされる。この計画では小さな揺れ（マグニチュード1～3）からマグニチュード7以上の大きさまでの反応が計測される。

地震研究の技術進歩

断層をモニタリングするのに現在使われている装置と技術はこの10年で著しく進歩した。これまでのネットワークは基礎岩に深くあけられたボアホール内で使用されていたが、それはインフラによる騒音（工業や乗り物の振動）に影響されない地域で、またデータを収集するのが比較的容易な場所であった。ハイワード・ネットワークは交通、高速輸送システム、大都市活動騒音のひどい環境で使用される。センサーやモニタリング装置の進歩がなければ、高レベルの環境騒音下で微細な地震の兆候を捕らえることは不可能だった。

新しいセンサーは非常に静かで極めて小さな地震を計測するため広い周波数範囲を提供できる。それらには信頼性があり、ひどい振動（0.5gまで）の最中でさえも安定している。在来型のボアホール地震計にはこのような大きな範囲は不可能だったし、複数レベルのデータ記録が必要とされた。しかし、至るところにある都市環境騒音と微小地震を選別できるこのハイワード・ネットワークは、3つのセンサーと、中央ネットワーク制御にリンクされたデータ収集システムですべての仕事をしているのである。



この記事は1997年11月号「SOUND & VIBRATION」誌に掲載されました。