

外2-26

早稲田大学大学院理工学研究科

## 博士論文概要

### 論文題目

平板開口の筋違補強の研究

申請者

難波 治之

Haruyuki Namba

平成2年11月

理1464(1711)

地下変電所等の鉄筋コンクリート造深層構造物の床版は、外壁から土圧、水圧等の影響を受け、また地震時には外壁へせん断力を伝達する等のため、大きな面内二次元応力を生じる。このため、深層部のスラブは地上部のスラブに比べて厚さが大である。これらの床版に設備のための開口が設けられるが、その設計には開口の影響を考慮する必要がある。

一般に開口のある板では、開口周辺に応力集中が起こり、開口周上の応力集中係数は、開口形状、特に開口隅角部の形状によって大きく左右される。また、開口の影響が最も大きい場合は、板がせん断力を受ける場合である。通常、開口部の補強法としては、鉄筋による補強が一般的であるが、本論文では開口形状を正方形とし、開口の影響が最も大きいのが板がせん断力を受ける場合であることから、筋違による補強法を考える。

一般に深層構造物の床版に於いて卓越する応力状態は、地震時の面内せん断力と土圧による面内圧縮力であるため、検討にあたって考慮した板の応力状態は、純せん断応力状態及び一方向一様圧縮応力状態の2ケースとした。また、筋違形式は、X形筋違、菱形筋違、及びその各々について一方向のみに筋違を配置した一方向対角線筋違、一方向平行筋違の計4タイプとした。

これまでに、板の開口部の応力集中に関する研究は数多い。昭和3年に浅羽氏は、造船協会会報で隅を丸めた近似正方形開口を表わす曲線座標を用いて、横田の応力関数により、正方形開口を有する無限板が一方向一様引張力を受ける場合、及び純せん断を受ける場合について応力の解を求めていた。また、松井博士は、昭和26年に早稲田大学理工学部紀要で、ラーメン架構が付帯した正方形開口耐震壁の応力状態を、架構隅部に於ける架構の効果を変位で表現して解かれた。更に、瀬谷博士は松井博士と共に、昭和54年の日本建築学会論文報告集で、架構付き有開口耐震壁の問題を Savin の方法を用いて解き、無限級数とならない簡明な表現の解を導かれている。その中で瀬谷博士は、壁の耐力を問題にする上で、開口からやや離れた壁内部に於けるせん断応力の増大が重要な意味を持つことを指摘された。

板の開口補強として筋違を用いた場合についての研究はかつて無い。

本論文は、筋違で補強された正方形開口を有する無限板について理論的に検討するものである。本論文では、近似正方形開口を表わすための曲線座標として、浅羽氏の方法を用い、応力分布及び変位の理論解を得るために、松井博士が架構付きの有開口壁の研究で採用された手法を準用する。また、筋違の補強効果を評価するために、開口周上の応力集中のみでなく、瀬谷博士の指摘された開口からやや離れたところのせん断応力の増大についても検討を行う。筋違が板の応力分布に及ぼす影響を調べるために、本研究では開口の内側境界に荷重が作用する場合の解を導く。正方形開口の内側境界に荷重が作用する場合の解は、これまで知られていない。

本論文は2章に大別され、はじめに板が純せん断を受ける場合、次に板が一方一様圧縮力を受ける場合を論じる。

板が純せん断を受ける場合については、筋違に作用する荷重が軸力となることから、先ず正方形開口を有する無限板について開口周上的一部に集中荷重が作用する場合の解を二次元弾性論の問題として導く。解法には横田の応力関数を用い、開口周上的一部分に作用する荷重はフーリエ係数により表現する。求めた解は、光弾性実験によりその妥当性を確認した。筋違の負担軸力は、筋違を線材とみなしその軸剛性に応じて筋違端部に於ける変位の適合条件により求める。筋違幅は種々変更し、筋違幅とその負担軸力の関係についても検討を行った。筋違の負担軸力が求まれば、その大きさに応じて、開口周上的一部に集中荷重が作用する場合の解と、既に浅羽氏が求めた正方形開口を有する無限板が純せん断を受ける場合の解を重ね合わせることにより、筋違によって補強された正方形開口を有する無限板の解が求まる。

その結果、純せん断を受ける場合について、開口周上の応力集中と、開口からやや離れた板内部に於けるせん断応力の増大が筋違により軽減されることが判った。筋違が無い場合には、開口からやや離れた部分のせん断応力は、開口が無い場合のせん断応力に比べて28%増となるが、一例として幅が正方形開口の一辺の長さの0.132倍となる様なX形筋違を設けると、その増大率を17%にまで低減できる。また、そのX形筋違を同じ幅の菱形筋違に置き換えると、その増大率は13%となる。筋違1本当たりの負担軸力は、X形筋違も菱形筋違も大差ない。また開口隅部の応力は、筋違が無い場合には開口が無い場合の応力の0.6倍となるが、上記と同じ幅の菱形筋違を設けると、その増大率を6.7倍にまで低減できる。X形筋違は、四隅の応力集中箇所に筋違があることにより、応力集中を少なくする。また、開口隅部の変位は、筋違が無い場合には開口が無い場合の変位の3.5倍となるが、上記と同じ幅のX形筋違を設けると、その変位の増大率を2.3倍にまで低減できる。要するに、板の開口部の筋違による補強が、通常の架構に於ける筋違のように非常に効果的であるとは言えないものの、せん断力に対してかなり有効であることを見い出した。

また、筋違によって補強された開口板の光弾性実験も行い、筋違の負担軸力と板の応力分布が理論と概ね一致することを確認した。

次に、せん断力に対する補強を主目的として設けた筋違が、土圧、水圧等による面内圧縮荷重に対してどの様な効果を持つかということを検討した。ここでは、荷重条件として、正方形開口の一辺に平行な方向（筋違に対しては45°傾いた方向）から作用する一方向一様圧縮力を考慮する。この場合、圧縮力の方向が筋違の材軸方向に一致しないため、筋違には軸力のみならずせん断力も作用する。そこで筋違が板の応力に及ぼす影響を、筋違の軸力によるものと筋違のせん断力によるものとに分け、その各々を正方形開口を有する無限板の開口周上的一部分に

荷重が作用する問題として別々に二次元弾性論によって解くことにする。開口周上的一部に筋違の軸力に相当する荷重が作用する場合の解は、既に板が純せん断を受ける場合の検討で求まっているため、筋違のせん断力に相当する荷重が作用する場合の解を新たに導く。この場合、荷重の分布が逆対称となるために、それに応じて横田の応力函数の表現が、前述の板が純せん断を受ける場合と異なってくる。基本的な考え方は純せん断の場合と同じである。筋違の負担する軸力とせん断力は、筋違を両端回転拘束（X形筋違に於いては交差部でも回転拘束を考慮）の線材とみなし、その剛性に応じて筋違端部の変位の適合条件により求める。筋違の負担する軸力とせん断力が判れば、その大きさに応じて、開口周上的一部に筋違の軸力に相当する荷重が作用する場合の解、開口周上的一部に筋違のせん断力に相当する荷重が作用する場合の解、及び既に浅羽氏が求めた正方形開口を有する無限板が一方向一様分布荷重を受ける場合の解の3つを重ね合わせることにより、筋違によって補強された正方形開口を有する無限板の解が求まる。

その結果、板が一方向一様圧縮力を受ける場合には、開口周上の応力が筋違の存在により、筋違の無い場合に比べて応力が増大する場合があるが、応力集中の大きい開口隅部については一般に筋違の存在により応力集中が緩和されることが判った。また、筋違の負担するせん断力が板の応力に及ぼす影響は極めて小さいことも判った。筋違が無い場合には、開口隅部で開口周に沿った方向の応力が、開口の無い場合の荷重方向の垂直応力度の3.86倍となる箇所があるが、一例として幅が正方形開口の一辺の長さの0.132倍となる様な菱形筋違を設けると、その増大率は、3.33倍に低減される。この場合、筋違の負担せん断力は、絶対値で単純比較して、筋違の負担軸力の約1/10である。また、同じ幅のX形筋違の場合には、筋違が無い場合に荷重方向に平行な開口の辺の中央で1.48倍になる開口周応力を1.38倍に軽減できる。X形筋違の場合も、その負担せん断力は、負担軸力の約1/10である。

板が圧縮力を受ける場合についても光弾性実験を行い、筋違の負担軸力と板の応力分布が理論と概ね一致することを確認した。

以上要するに、本論文は、大きな面内力を受ける板に設けられた正方形開口部を筋違で補強した場合の効果を二次元弾性論と光弾性実験により検討したもので、せん断力に対しては、通常の架構に於ける筋違のように非常に効果的であるとは言えないものの、かなり有効であること、また一方向一様圧縮力に対してはせん断力を受ける場合ほど有効であるとは言えないものの補強効果があることを示した。