

THE CERAMIC ANCHOR WHICH FIXES A ELECTROMAGNET

Takao Oogoe^{1,A)}, Hiroshi Oki^{B)}

A) High Energy Accelerator Research Organization

1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801 Japan

B) KDC Engineering CO., LTD

5-6-26 Kugenumakaigan, Fujisawa, Kanagawa, 251-0037 Japan

Abstract

The electromagnet of the J-PARC 50GeV synchrotron is fixed on the concrete floor by the ceramic anchor. This report is about the fixation material (epoxy resin) and the ceramic anchor. An examination subject is the confirmation of the shearing stress and the tensile strength. Furthermore, do it about the radiation irradiation. An examination was the same as the use conditions. The ceramic anchor was set inside the concrete block by the fixation medicine. A good result came out from the shearing stress and the tensile strength. As for the radiation irradiation examination, it measure the condition of the fixation medicine. A source of radiation is cobalt 60 (gamma ray). The strength of the fixation medicine didn't deterioration.

電磁石固定用セラミックアンカー

1. はじめに

J-PARC 50 GeVシンクロトロンでは主要電磁石392台を加速器トンネルのコンクリート床に設置している。ここで固定用に使用しているセラミックアンカーと定着剤について報告する。

加速器の電磁石は電源によって発生したノイズがモニタ等に影響を与えないため電磁石を床と絶縁している。絶縁材には放射線劣化の少ない材質であるセラミックやG10が利用され、ワッシャー・カラー・スペーサーの形状で使用される。使用位置によっては圧縮力が大きく加わり破損したりするために、電磁石の設置精度を得るために現状に合わせて製作をしなければならない。このようなことを解決するためにセラミック製のアンカーを使用することを検討した。



本体（内側メネジ）で行い、スリーブは埋め込み長を確保するためである。

| | |
|----------|-------------------------------|
| セメントの種類 | 早強ポルトランドセメント |
| 設計基準強度 | 21 N/mm ² |
| 粗骨材の最大寸法 | 20 mm |
| 鉄筋の有無 | 無筋 |
| 外形寸法 | 1500mm×1500mm×600mm |
| 圧縮強度試験結果 | 26.6 N/mm ² (平均強度) |

表1: コンクリートブロック仕様

2. 引張耐力・剪断耐力

セラミックアンカーを使用するにあたり、電磁石を長期的に固定できること、地震等の瞬間的な荷重に対して十分に耐えられることを確認するために、許容引張耐力と許容剪断耐力の試験を行った。加速器トンネルと使用条件を同じにするために、コンクリートブロック（表1）にセラミックアンカーを定着剤（施工時と同じエポキシ系接着剤）により固着した。

使用したセラミックアンカー（表2、図1）はアンカー本体とスリーブの構成になっており、コンクリートブロックとの固着とボルトの固定はアンカー

(穿孔径は施工用ドリル径)

図1、表

| 呼び系 | M1 | M2 | M2 |
|---------------|----|-----|-----|
| アンカー部 (mm) | 25 | 44 | 52 |
| スリーブ部 (mm) | 30 | 51 | 73 |
| 有効埋込長 (mm) | 55 | 100 | 130 |
| 穿孔径(mm) | 25 | 40 | 47 |
| 穿孔深さ(mm) | 60 | 105 | 135 |

表2: セラミックアンカーの仕様

引張耐力の試験方法（図2）は十分な硬化時間経過後にセラミックアンカーに全ねじボルトを取り付け、ボルト頭側をセンターホール型油圧ジャッキに取り付け引っ張る方式とした。試験耐力の測定はロードセルを用いパソコンに取り込んだ。試験の挙動を確認するためにダイヤルゲージを取り付けた。目視監視を行いながら油圧を徐々に加え試験体が破壊するまで行った。

¹ E-mail: takao.oogoe@kek.jp

引張耐力の試験方法（図3）は鉄板をボルトでセラミックアンカーに固定し、この鉄板を油圧ジャッキで引っ張る方法とした。測定はロードセルを用いた引張耐力と同じである。

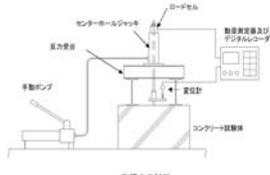


図2：引張耐力試験

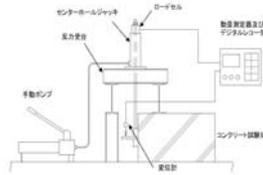


図3：切断耐力試験

2.1 許容引張耐力の算定

定着剤で接着されたアンカーに引張耐力を与えていった場合、3つのモードの破壊形態が考えられる。計算によって破壊が起る耐力とモードを検討した。（日本建築学会「各種合成構造設計指針・同解説」に準拠して計算）

(1) コンクリートのコーン状破壊による許容引張耐力

$$Pa1(kN) = [\phi1 \cdot 0.75 \sqrt{(FC \times 10.2) \cdot AC / 100}] \cdot 9.8 / 1000$$

(2) ボルトの降上による許容引張耐力

$$Pa2(kN) = (\phi2 \cdot \sigma_b \cdot A_s) / 1000$$

(3) 定着剤の付着強度による引張耐力

$$Pa3(kN) = (\phi3 \cdot \tau_a \cdot \pi \cdot D \cdot L_e) / 1000$$

| | Pa1 (kN) | | Pa2(kN) | | Pa3(kN) | |
|-----|----------|------|---------|------|---------|-------|
| | 長期 | 短期 | 長期 | 短期 | 長期 | 短期 |
| M20 | 18.9 | 28.4 | 39.2 | 58.8 | 50.3 | 75.4 |
| M24 | 31.1 | 46.7 | 56.5 | 84.7 | 76.8 | 115.2 |

表3：許容引張耐力

計算結果からはコンクリートの破壊が最初に起ることが予想される。

2.2 許容剪断耐力の算定

コンクリートブロックに固着されたセラミックアンカーの許容剪断耐力

$$qa(kN) = \phi_s1(0.7 \cdot \sigma_b \cdot A_s) / 1000$$

| | | |
|-----|---------------|---------------|
| M20 | 長期：27.4 kN | 短期：41.2 kN |
| M24 | 長期：39.5 kN | 短期：59.3 kN |

表4：許容剪断耐力

2.3 引張耐力・剪断耐力の試験結果

試験は各項目において各々4点行った。引張耐力

試験においては計算と同じく全てがコンクリート破壊によるものであり、定着剤からの薄利、セラミックアンカーの破損によるものは無かった。加えて破壊時の平均耐力も大きくアンカーボルトが原因による電磁石の据え付け不良は起りにくいと判断した。

剪断試験においては鉄板を固定したボルトが鉄板によって切断された。この時もセラミックアンカー内に破断したボルトの下部が残っており、セラミックアンカーがボルトを固定していたことが判る。

| 試験 | サイズ | 平均耐力 | 破壊状態 |
|-----|-----|---------|----------|
| 引張り | M20 | 79.6 kN | コンクリート破壊 |
| | M24 | 134 kN | コンクリート破壊 |
| 剪断 | M20 | 86.0 kN | ボルト切断 |
| | M24 | 125 kN | ボルト切断 |

表5：引張り耐力・切断耐力試験結果

3. 放射線による劣化

セラミックアンカーをコンクリートの床に固定するためには定着剤を使用する。定着剤は有機材料のものが多く放射線に弱いことがあるため放射線照射を行い、定着剤の劣化の度合いを引張耐力試験によって確認した。

3.1 放射線照射条件

コンクリートブロック（500×300×150mm、図4）にセラミックアンカー3本（M12）を定着剤により固着した試験体を5体制作し、線源より順番に距離をとりながら配置した。各試験体にアラニン線量計を取り付け予備照射を行い個々の線量を測定し、照射時間を決定した。試験体の内1体は照射を行わず基準体とした。

照射試験場：日本原子力研究開発機構

高崎量子応用研究所 コバルト60第1照射棟

線源：コバルト60-ガンマ線

積算照射線量：0、0.7、3.9、5.4、13.9 (MGy)

積算照射時間：997.4時間



図4：コンクリートブロック



図5：定着剤

3.2 引張耐力評価試験

定着剤(図5)の試験であることを考え、コンクリート破壊を抑えるために、穿孔径より少し大きめの穴を開けた鉄板をコンクリートブロックに乗せその穴を通しボルトを出して、油圧ジャッキで荷重を与えた(図6)。また、ボルトの伸びを避けるため強度の高いSNB7材を使用した。許容引張耐力(表6)は2.1項の算出に準じて計算をした。サイズはM12を使用した。終局引張耐力は減水係数を含めない値である。



| Pa1 (kN) | | | Pa2(kN) | | | Pa3(kN) | | |
|----------|------|------|---------|------|------|---------|------|------|
| 長期 | 短期 | 終局 | 長期 | 短期 | 終局 | 長期 | 短期 | 終局 |
| 6.9 | 10.3 | 17.2 | 40.7 | 61.1 | 61.1 | 17.3 | 25.9 | 43.2 |

表6：放射線照射に使用したM12の許容引張耐力

3.3放射線照射による試験結果(表7)

放射線照射(γ線)による定着剤の固着強度の低下は見られなかった。γ線照射を行わなかった基準試験体の引張最大耐力は53.3~55.3kNであり、これに対しγ線照射を行った4つの試験体の11個のアンカーでは引張最大耐力は50.2~61.1kN(平均53.9kN)であった(アンカー1個は同じ試験体の別のアンカーの試験時に発生したコンクリートのクラックによる影響があるため除いた)。

定着剤は通常の状態では固着するとピンク色であったが、照射線量が増加すると黒ずんでいき褐色になった(図7)。

γ線照射を行ったセラミックアンカーにおいて本体ネジ部が破損するものが発生した。セラミックのねじ山がボルトのねじ山によって削られるように破壊した。この破壊時の耐力は50.2~55.0kNであり、セラミックアンカーのねじ部の保証耐力51.4kNとほぼ同じである。破壊したセラミックを観察してみるとγ線照射が多くなったものはもろくなっていることがわかる(図8)。

| 積算照射量 | 試験体番号 | 最大耐力(kN) | 破壊形態 |
|----------------|---------|----------|------|
| 0 MGy 基準試験体 | 0 MGy-1 | 53.9 | 母材破壊 |
| | 0 MGy-2 | 53.3 | 母材破壊 |
| | 0 MGy-3 | 53.3 | 母材破壊 |

| | | | |
|---------|----------|------|-------|
| | | | * |
| 0.7 MGy | 1 MGy-1 | 54.1 | 母材破壊 |
| | 1 MGy-2 | 54.2 | 母材破壊 |
| | 1 MGy-3 | 52.3 | 母材破壊* |
| 3.9 MGy | 3 MGy-1 | 54.6 | 抜き出し |
| | 3 MGy-2 | 55.0 | 抜き出し |
| | 3 MGy-3 | 51.3 | 抜き出し |
| 5.4 MGy | 6 MGy-1 | 50.3 | 母材破壊 |
| | 6 MGy-2 | 61.1 | 鋼材降伏 |
| | 6 MGy-3 | 38.0 | 母材破壊* |
| 13.9MGy | 10 MGy-1 | 50.2 | 抜き出し |
| | 10 MGy-2 | 54.9 | 抜き出し |
| | 10 MGy-3 | 54.9 | 抜き出し |

抜き出し：セラミックアンカーの本体ねじ部破壊
母材破壊*：試験体-1、-2の母材破壊による影響

表7：γ線照射による試験結果

5. まとめ

セラミックアンカーを使用するにあたっては機械強度と放射線による劣化の2点が問題であったが、機械強度は使用サイズによる引張耐力・剪断耐力を行い問題ないことを確認した。γ線照射による定着剤の劣化は照射量13.9MGyまで行い全く固着強度に変化が無いことを確認した。照射量13.9MGyは使用を予定しているトンネル内では放射線量が最大の所においても20年以上の値と推測されるため問題は無いと考えている。想定外であったことはセラミックアンカーが十分な強度は保っているがγ線照射によって劣化していることであった。

陽子加速器のため中性子の発生があるが中性子の照射試験ができていないためセラミックアンカー・定着剤にどのような影響があるか不明なことが気にかかる点である。

今回の試験により加速器トンネル内において電気的絶縁をとりながら重量物を固定することが手軽に可能になった。

謝辞

今回の試験におきましてはJAEAの草野譲一氏、日本ヒルティの窪田寿之氏には御協力御助言をいただきありがとうございました。試験実施に伴いまして(株)日立製作所殿、日立プラント建設(株)殿、高崎量子応用研究所殿、明電セラミック(株)殿にはご協力いただきましたこと感謝いたします。

参考文献

[1] (株)日立製作所、日立プラント建設(株)「セラミックアンカー強度評価確認試験結果報告書」

- [2] 日本ヒルティ(株)「セラミックアンカー用定着剤の放射線試験報告書」
- [3] (財)日本建築防災協会「既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準改修設計指針同解説」